

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**

**E.A.P. DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Compactación de lodos en sedimentación discontinua**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

**AUTOR**

Marco Antonio Vargas Ramírez

**ASESOR**

Ricardo F. Lama Ramírez

Lima - Perú

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  
EAP. DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ACTA DE TÍTULO POR SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrado por el Sr. Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química, bajo la Presidencia del **Mg. CESARIO CONDORHUAMÁN CCORIMANYA**, el Ing. **GILBERTO VICENTE SALAS COLOTTA** (Miembro), y el Dr. **RICARDO FELIPE LAMA RAMIREZ** (Asesor), después de escuchar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**COMPACTACIÓN DE LODOS EN SEDIMENTACIÓN DISCONTINUA**", rendida por el Bachiller en Ingeniería Química **MARCO ANTONIO VARGAS RAMIREZ**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO**. Acordaron calificarle con la **NOTA** de:

*Dieciocho*  
.....  
(LETRAS)

*18*  
.....  
(NUMEROS)

Ciudad Universitaria, 03 de octubre de 2013.

*[Firma]*  
Mg. CESARIO CONDORHUAMÁN CCORIMANYA  
PRESIDENTE

*[Firma]*  
Ing. GILBERTO VICENTE SALAS COLOTTA  
MIEMBRO

*[Firma]*  
Dr. RICARDO FELIPE LAMA RAMIREZ  
ASESOR

*[Firma]*  
Mg. JULIO JAVIER ARMIJO GARRANZA  
Director de la Escuela Académico Profesional  
de Ingeniería Química



JA/me

Para mis padres,

A quienes agradezco el apoyo para poder llegar a estas instancias en mis estudios, ya que siempre están para apoyarme moral y emocionalmente.

A mi esposa,

Cuya paciencia y cooperación hicieron posible realizar este trabajo.

A mi hija,

Quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

## I. RESUMEN

En este trabajo se presenta los resultados del estudio de la sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en grado comercial; realizados en un rango de temperatura entre 20 y 25 °C, en sedimentadores verticales de vidrio de sección transversal circular con diámetros internos que fluctúan entre 47 y 65 mm, y de 52 hasta 57 cm de altura del sedimentador.

Las velocidades de sedimentación estudiadas fluctúan entre 0.03 y 6.47 cm/min, y las concentraciones relativas,  $(H_{\infty}/H_o)$ , entre 0.06 y 0.68 para valores de concentración de las suspensiones entre 49 y 750 g/l. Los resultados muestran que la concentración relativa,  $H_{\infty}/H_o$ , es directamente proporcional a la concentración inicial de la suspensión e inversamente proporcional al tamaño de la partícula.

Además, los datos obtenidos en la zona de compactación expresado como la concentración relativa, en la fracciones volumétricas,  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_o)}$ , dependen del origen del tipo de material y el tamaño de la partícula del sólido.

## **II. AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece al profesor Ing. Ricardo F. Lama Ramírez, Ph. D, asesor de esta tesis, por su disposición y orientación brindada durante el desarrollo de este trabajo, además de su apoyo y amistad las cuales permitieron aprender mucho más de lo estudiado en el proyecto.

El autor expresa un grato aprecio a la profesora Ing. Gloria L. Contreras Pérez, por su guía, consejos y apoyo en la preparación de la tesis, y a la amistad que siempre me ha brindado.

También es un placer agradecer al Ing. Cesar A. Zegarra Solano por el apoyo, cooperación y contribución en la determinación de los datos y pruebas realizadas en la tesis. Al Ing. Ilder Barbaran por su asistencia en la correlación de los datos experimentales.

En adición, el autor agradece al personal de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química por dar disponibilidad y facilidad en el uso de sus instalaciones y equipos de laboratorio, y en especial al Ing. Timoteo Zavala.

Así mismo el agradecimiento a la empresa Industrias Vencedor S.A. por la cooperación en el análisis del tamaño de la partícula.

Finalmente, el autor agradece muy significativamente a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### III. TABLA DE CONTENIDO

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| I II RESUMEN   | i             |
| III AGRADECIMIENTOS  | ii            |
| IV TABLA DE CONTENIDO  | iii           |
| V LISTA DE FIGURAS   | v             |
| VI LISTA DE TABLAS   | x             |
| VII NOMENCLATURA   | xvii          |
| INTRODUCCION   | 1             |
| VIII Objetivo de este trabajo  | 2             |
| PRINCIPOS TEORICOS   | 3             |
| 1. Sedimentación de una esfera en un fluido infinito o Ley de Stokes | 3             |
| 2. Sedimentación discontinua   | 4             |
| 3. Sedimentación obstaculizada                                       | 5             |
| 4. La teoría de Kynch  | 6             |
| 5. Relación de alturas o Concentración relativa                      | 6             |
| 6. Factor de Forma   | 7             |
| 7. Porosidad del lecho   | 8             |
| IX 8. Trabajos previos   | 8             |
| PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL   | 11            |
| 1. Preparación de muestras   | 11            |
| 2. Resultados de las Propiedades físicas de los materiales           | 13            |
| X 3. Sedimentación discontinua                                       | 15            |
| TABULACION DE DATOS Y RESULTADOS                                     | 17            |
| 1. Suspensiones de carbonato de calcio                               | 17            |
| 2. Suspensiones de sulfato de bario                                  | 20            |
| 3. Suspensiones de óxido de plomo                                    | 22            |
| 4. Resultados de datos presentados en las referencias citadas        | 23            |
| XI ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS                                | 26            |
| 1. Velocidad de sedimentación o zona de concentración uniforme       | 26            |
| 2. Zona de compresión o compactación                                 | 31            |

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| XII CONCLUSIONES   | 47            |
| XIII BIBLIOGRAFIA  | 49            |
| XIV APENDICE   | 51            |
| 1. Resultados de la velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.  | 52            |
| 2. Resultados de la concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.  | 59            |
| 3. Resultados de la concentración relativa, en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.              | 66            |
| 4. Datos estadísticos.   | 77            |
| 5. Ejemplo de cálculos   | 86            |
| 6. Datos experimentales de sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y oxido de plomo.                        | 89            |
| 7. Ploteos de la altura versus tiempo de sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y oxido de plomo.          | 112           |
| 8. Distribución de tamaños de partícula de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.   | 119           |
| 9. Datos de las dimensiones de sedimentadores continuos a partir de los datos de sedimentación discontinua, sugeridos por el Ing. Gilberto Salas Colotta (Miembro del Jurado). | 136           |

#### IV. LISTA DE FIGURAS

| <u>Figura</u>  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1 Fuerzas que actúan sobre una partícula esférica.   | 3             |
| 2 Pruebas típicas de Sedimentación Discontinua.  | 5             |
| 3 Efecto del tamaño de la partícula en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas de carbonato de calcio.                                 | 27            |
| 4 Efecto del tamaño de la partícula en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas de sulfato de bario.                                    | 28            |
| 5 Efecto del tamaño de la partícula en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas de óxido de plomo.                                      | 29            |
| 6 Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.                                     | 33            |
| 7 Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa de suspensiones acuosas de sulfato de bario.  | 34            |
| 8 Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa de suspensiones acuosas de óxido de plomo.  | 35            |
| 9 Efecto del tamaño de la partícula de la concentración relativa, en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio. | 40            |
| 10 Efecto del tamaño de la partícula de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario.    | 41            |
| 11 Efecto del tamaño de la partícula de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo.      | 42            |



| <u>Figura</u>   | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 12(A) Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus su tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.  | 43            |
| 12(B) Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus su tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en un rango de tamaño de partícula entre 1 a 10 $\mu\text{m}$ . | 44            |
| 12(C) Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus su tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en un rango de tamaño de partícula entre 1 a 10 $\mu\text{m}$ . | 44            |
| 13 Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.   | 55            |
| 13 (A) Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.   | 56            |
| 14 Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de sulfato de bario.  | 57            |
| 15 Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de óxido de plomo.  | 58            |
| 16 (A) Concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.   | 62            |
| 16 (B) Concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.   | 63            |
| 17 Concentración relativa de suspensiones acuosas de sulfato de bario.  | 64            |
| 18 Concentración relativa de suspensiones acuosas de óxido de plomo.  | 65            |
| 19 (A) Concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.  | 69            |
| 19 (B) Concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.  | 70            |

| <u>Figura</u>  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 20 Concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de sulfato de bario.  | 71            |
| 21 Concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de óxido de plomo.  | 72            |
| 22 Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.                                 | 73            |
| 23 Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de sulfato de bario.                                    | 74            |
| 24 Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de óxido de plomo.                                      | 75            |
| 25 Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de tamaño de partícula mayores a 10 $\mu\text{m}$ . | 76            |
| 26 Recta ajustada por mínimos cuadrados de la velocidad de sedimentación del carbonato de calcio micronizado FM-1000.  | 81            |
| 27 Recta ajustada por mínimos cuadrados de la concentración relativa del carbonato de calcio micronizado FM-1000.  | 81            |
| 28 Comparación de las tendencias de la regresión lineal de la velocidad de sedimentación del Litargirio.   | 84            |
| 29 Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio químicamente puro, Mallinckrodt.   | 113           |
| 30 Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio micronizado FM-1000.   | 113           |
| 31 Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio precipitado, El Nevado.  | 114           |

| <u>Figura</u>   | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 32 Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio precipitado<br>Diamante Rojo.                 | 114           |
| 33 Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato TE 100.   | 115           |
| 34 Curvas de sedimentación discontinuas del sulfato de bario químicamente<br>puro, Riedel de Haen AG.         | 115           |
| 35 Curvas de sedimentación discontinuas de la Baritina Blanca Micronizada<br>Especial.                        | 116           |
| 36 Curvas de sedimentación discontinuas de la Baritina Blanca Micronizada.                                    | 116           |
| 37 Curvas de sedimentación discontinuas de la baritina PM Grado API.  | 117           |
| 38 Curvas de sedimentación discontinua del Minio.   | 117           |
| 39 Curvas de sedimentación discontinua del Litargirio.  | 118           |
| 40 Dispersión idealizada de una partícula esférica.   | 120           |
| 41 Cuatro tipos de interacción entre la luz y la superficie.  | 121           |
| 42 Sistema Óptico del LA-910.   | 123           |
| 43 Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio<br>químicamente puro, Mallinckrodt. | 124           |
| 44 Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio<br>micronizado FM-1000.             | 125           |
| 45 Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio<br>precipitado El Nevado.           | 126           |
| 46 Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio<br>precipitado Diamante Rojo.       | 127           |
| 47 Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato TE 100.                                       | 128           |

| <u>Figura</u>   | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 48 Curva de distribución del tamaño de partículas sulfato de bario químicamente puro, Riedel de Haen AG.                        | 129           |
| 49 Curva de distribución del tamaño de partículas de la Baritina Blanca Micronizada Especial.                                   | 130           |
| 50 Curva de distribución del tamaño de partículas de la Baritina Blanca Micronizada.  | 131           |
| 51 Curva de distribución del tamaño de partículas de la baritina PM Grado API.  | 132           |
| 52 Curva de distribución del tamaño de partículas de la baritina comercial.   | 133           |
| 53 Curva de distribución del tamaño de partículas del Minio.  | 134           |
| 54 Curva de distribución del tamaño de partículas del Litargirio.   | 135           |
| 55 Determinación del mínimo valor de $Q_L C_L / A$ para el Carbonato de calcio Micronizado FM-1000                              | 140           |
| 56 Altura de la interfase como función del tiempo de sedimentación (representación de Roberts)                                  | 143           |
| 57 Dato de la prueba de sedimentación discontinua del carbonato de calcio micronizado FM-1000 para una concentración de 100 g/L | 144           |

## V. LISTA DE TABLAS

| <u>Tabla</u>   | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1      Propiedades físicas del carbonato de calcio.  | 13            |
| 2      Propiedades físicas del sulfato de bario.   | 14            |
| 3      Propiedades físicas del óxido de plomo.   | 14            |
| 4      Datos de las suspensiones del carbonato de calcio químicamente puro<br>Mallinckrodt, 20.9 $\mu\text{m}$ , 2.7 g. e. | 17            |
| 5      Datos de las suspensiones del carbonato de calcio micronizado FM-<br>1000, 2.4 $\mu\text{m}$ , 2.6 g. e.            | 17            |
| 6      Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado El<br>Nevado, 2.8 $\mu\text{m}$ , 2.6 g. e.           | 18            |
| 7      Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado<br>Diamante Rojo 7.7 $\mu\text{m}$ , 2.6 g. e.        | 19            |
| 8      Datos de las suspensiones del Carbonato TE 100, 18.2 $\mu\text{m}$ , 2.6 g. e.                                      | 19            |
| 9      Datos de las suspensiones del sulfato de bario químicamente puro<br>Riedel de Haen AG 1.6 $\mu\text{m}$ , 4.1 g. e. | 20            |
| 10     Datos de las suspensiones de la Baritina blanca micronizada especial,<br>2.3 $\mu\text{m}$ , 4.5 g. e.              | 20            |
| 11     Datos de las suspensiones de la Baritina blanca micronizada, 2.3 $\mu\text{m}$ ,<br>4.5 g. e.                       | 21            |
| 12     Datos de las suspensiones de la Baritina PM Grado API, 13.6 $\mu\text{m}$ , 4.1                                     | 21            |

| <u>Tabla</u>  | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 13 Datos de las suspensiones de la baritina comercial 22.0 $\mu\text{m}$ , 4.2 g. e.  | 21            |
| 14 Datos de las suspensiones del Minio 2.2 $\mu\text{m}$ , 9.1 g. e.  | 22            |
| 15 Datos de las suspensiones del Litargirio 11.2 $\mu\text{m}$ , 9.5 g. e.  | 22            |
| 16 Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado E. W. Commings, 1940   | 23            |
| 17 Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado R. Lama, 1963  | 23            |
| 18 Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado Brady, 1963  | 24            |
| 19 Datos de las suspensiones del carbonato de calcio precipitado Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940, 12.6 $\mu\text{m}$ , 2.6 g. e.            | 24            |
| 20 Datos de las suspensiones del sulfato de bario Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940, 18 $\mu\text{m}$ , 4.2 g. e.                             | 25            |
| 21 Datos de las suspensiones de Óxido de Plomo C. Condorhuaman, 1998, 9.2 g. e.   | 25            |
| 22 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio de este trabajo. | 38            |
| 23 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario de este trabajo.    | 38            |
| 24 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo de este trabajo.      | 39            |

| <u>Tabla</u>  | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 25 Datos estadístico del coeficiente de correlación entre tamaño de la partícula y la concentración relativa, en las fracciones volumétricas. | 45            |
| 26 Resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.   | 53            |
| 27 Resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de sulfato de bario.  | 54            |
| 28 Resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de óxido de plomo.  | 54            |
| 29 Resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.  | 60            |
| 30 Resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de sulfato de bario.   | 61            |
| 31 Resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de óxido de plomo.   | 61            |
| 32 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio.                 | 67            |
| 33 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario.                    | 68            |
| 34 Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo.                      | 68            |

| <u>Tabla</u>   | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 35 Parámetros de regresión lineal de la velocidad de sedimentación para el carbonato de calcio micronizado FM-1000.                                      | 78            |
| 36 La prueba CHI cuadrado de los datos experimentales de la velocidad de sedimentación para el carbonato de calcio micronizado FM-1000.                  | 78            |
| 37 Parámetros de regresión lineal de la concentración relativa para el carbonato de calcio micronizado FM-1000.  | 78            |
| 38 La prueba CHI cuadrado de los datos experimentales de la concentración relativa para el carbonato de calcio micronizado FM-1000.                      | 79            |
| 39 Análisis de resultados de la regresión lineal del Litargirio de la tendencia N° 1 de la velocidad de sedimentación.                                   | 82            |
| 40 Análisis de resultados de la regresión lineal del Litargirio de la tendencia N° 2 de la velocidad de sedimentación.                                   | 82            |
| 41 Comparación de resultados del análisis de la velocidad de sedimentación del Litargirio.   | 82            |
| 42 Datos estadístico del coeficiente de correlación entre tamaño de la partícula y la concentración relativa, en las fracciones volumétricas.            | 85            |
| 43 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio químicamente puro Mallinckrodt (126.2 g/L - 340.0 g/l). | 90            |



| <u>Tabla</u>  | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 44 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (49.9 g/L - 70.8 g/l).     | 91            |
| 45 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (80.1 g/L - 120.3 g/l).    | 92            |
| 46 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (140.2 g/L - 198.9 g/l).   | 93            |
| 47 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (200.3 g/L - 299.8 g/l).   | 95            |
| 48 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado El Nevado (49.9 g/L - 86.4 g/L).   | 96            |
| 49 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado El Nevado (90.0 g/L - 130.0 g/L).  | 97            |
| 50 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado El Nevado (142.1 g/L - 210.0 g/L). | 98            |

| <u>Tabla</u>  | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 51 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo (49.9 g/L - 120.1 g/L).        | 99            |
| 52 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo (120.1 g/L - 169.8 g/L).       | 100           |
| 53 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de Carbonato TE 100 (92.9 g/L - 451.6 g/L).                                      | 101           |
| 54 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de Carbonato TE 100 (494.9 g/L - 747.0 g/L).                                     | 102           |
| 55 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG (70.0 g/L - 101.1 g/L).  | 103           |
| 56 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG (119.7 g/L - 160.5 g/L). | 104           |
| 57 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la Baritina blanca micronizada especial (94.8 g/L - 400.2 g/L).               | 105           |
| 58 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la Baritina blanca micronizada (100.0 g/L - 200.0 g/L).                       | 106           |

| <u>Tabla</u>   | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 59 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la Baritina blanca micronizada (230.0 g/L - 270.0 g/L).                        | 107           |
| 60 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la Baritina PM Grado API (233.2 g/L - 400.3 g/L).                              | 108           |
| 61 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la Baritina PM Grado API (450.2 g/L - 600.2 g/L).                              | 109           |
| 62 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del Minio (378.1g/L - 641.1 g/L).   | 110           |
| 63 Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del Litargirio (353.9 g/L - 750.1 g/L).   | 111           |
| 64 Resultados de las dimensiones del sedimentador continuo   | 138           |
| 65 Determinación de la mínima valor de $Q_{LCI/A}$   | 140           |
| 66 Dato experimental de la prueba de sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 a una concentración de 100 g/L | 142           |
| 67 Dato calculado para la estimación del volumen del espesador para el Carbonato de calcio Micronizado FM-1000   | 143           |

## VI. NOMENCLATURA

|                  |  |
|------------------|--|
| $C_o, C_f$       | Concentración inicial y final de la suspensión, g/l.                                       |
| $d$              | Diámetro de la partícula, micrones.  |
| $F$              | Factor de Fisher.  |
| $F_C$            | Factor crítico de Fisher.  |
| $F_R$            | Fuerza de resistencia.   |
| $g$              | Fuerza de gravedad, kg x m/seg.  |
| $H_\infty, H_o$  | Altura final e inicial de la suspensión en el recipiente del sedimentador discontinuo, cm. |
| $H_f$            | Altura final del lodo compactado por la centrífuga, cm.                                    |
| $(H_\infty/H_o)$ | Concentración relativa, proporción de la altura final con la altura inicial.               |
| $K$              | Constante de proporcionalidad de Kynch.  |
| $K_C$            | Constante de compresión de Egolf y McCabe.   |
| $K M_s$          | Factor experimental de Robinson.   |
| $M_L m$          | Masa del sólido y masa del líquido, gramos.  |
| $m'$             | Masa de la partícula, gramos.  |
| $n-1$            | Masa del fluido, gramos.   |
| $r$              | Grado de libertad.   |
| $s$              | Radio medio de las partículas, micrones.   |
| $S_f$            | Desviación estándar.   |
| $t$              | Concentración final de los sólidos compactados en la centrifuga, Kg/m <sup>3</sup> .       |
| $V$              | Magnitud de la función de Student.   |
| $V_s, V_L$       | Velocidad de sedimentación, cm/min.  |
|                  | Volumen del sólido y líquido en la suspensión, litros.                                     |

|                        |   |
|------------------------|---|
| $V_{\infty} X_S$ ,     | Volumen de sólidos de la suspensión en la altura final, $\text{cm}^3$ . |
| $X_L X^2$              | Fracción volumétrica del sólido y líquido de la suspensión.             |
| $\% W_S$               | Distribución de CHI Cuadrado.   |
| $dv/dt$                | Porcentaje de los sólidos.  |
| $\alpha$               | Aceleración de la partícula.  |
| $\beta$                | Nivel de significancia.   |
| $\theta$               | Constante de compresión de Egolf y McCabe.                              |
| $\mu$                  | Tiempo, minutos.  |
| $\rho, \rho_S, \rho_L$ | Viscosidad de la suspensión, centiposises.                              |
| $\sigma$               | Densidad del fluido, sólido y líquido, $\text{gr}/\text{cm}^3$ .        |
|                        | Desviación de la población.   |

## **VII. INTRODUCCION**

La sedimentación es una operación unitaria utilizada en diferentes tipos de procesos, que, consiste en la separación de partículas solidas de una suspensión acuosa por la acción de la fuerza gravitacional.

El análisis de la caída de una partícula es usualmente realizado mediante la aplicación de la ley de Stokes o una modificación de la ecuación de Stokes.

Industrialmente la operación unitaria de sedimentación de lodos es utilizado ampliamente para la separación de suspensiones de sólidos-líquidos y extensamente usado en todas partes del mundo, comprendiendo diversas aplicaciones tales como la clarificación de jugos de azúcares, tratamientos de aguas, trabajos de purificación o espesamientos de minerales de metálicos, etc. La clarificación centra su interés en la obtención de un líquido transparente partiendo de suspensiones de bajo contenido de sólidos. Mientras que, el termino espesamiento se aplica a los casos en que la finalidad principal es la obtención de una pulpa de elevado porcentaje de sólidos.

Estos procesos industriales son realizados por sedimentadores continuos, en donde el diseño es basado de los datos obtenidos en el laboratorio mediante las pruebas de sedimentación discontinua. Estos datos de sedimentación discontinua son obtenidos de la altura de la interfase de separación entre el líquido clarificado y la suspensión, en función del tiempo. Este proceso comienza cuando las partículas suspendidas empiezan a sedimentar bajo la fuerza de gravedad, formando así diferentes zonas de concentración en el cilindro; la primera zona es formada por un líquido clarificado, seguido de una zona de concentración uniforme (concentración inicial de la suspensión); la tercera zona, es la zona de transición y finalmente la zona de compresión; cuando haya sedimentado completamente todas las partículas

en el fondo del cilindro, y formado solamente dos zonas, el líquido clarificado y el sólido depositado, comienza la etapa llamada compresión o compactación, la cual, consiste en una compresión lenta del sólido sedimentado hasta alcanzar una altura final constante.

**Objetivo de este trabajo:**

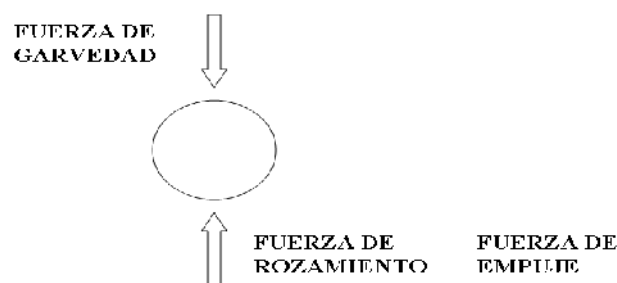
El objetivo de este estudio, es determinar los factores que se involucran en la compactación de lodos en la sedimentación, mediante pruebas experimentales de sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

## VIII. PRINCIPIOS TEORICO

### 1. Sedimentación de una Esfera en un fluido infinito o Ley de Stokes

La sedimentación consiste de una partícula esférica que parte del reposo y sedimenta en un fluido inmóvil, la masa del fluido con respecto a la partícula se supone que es muy grande, siendo la distancia de la partícula a las paredes o a cualquier otro partícula 10 a 20 veces el diámetro de la partícula; estas condiciones definen el proceso denominado *sedimentación libre*.

La partícula acelerará bajo la influencia de la fuerza de gravedad. A medida que la partícula se acelera, el fluido ofrece una resistencia a la fricción cada vez mayor, y llegara un momento en que la fuerza de resistencia del líquido sea igual a la fuerza de la gravedad, por lo que la aceleración se anula, y la partícula a partir de este momento sedimenta a una velocidad constante.



**Figura 1. Fuerzas que actúan sobre una partícula esférica**

Esto supone, que la expresión matemática de las fuerzas que actúan sobre la partícula serán:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - m'g - F_R \quad \dots (1)$$

donde:  $m$ , masa de la partícula;  $dv/dt$ , aceleración de la partícula, teniendo en cuenta que cuando la partícula ha alcanzado una velocidad constante la  $dv/dt=0$ ;  $m'$ , masa del fluido desplazado por la partícula y  $F_R$ , fuerza de resistencia.



Stokes<sup>1</sup> dedujo una relación para la resistencia ofrecida al movimiento de una esfera en un fluido, en condiciones de régimen laminar, tales que, la resistencia total es originada por la fricción interna del fluido y los efectos de inercia despreciables, donde:

$$F_R = 3\pi\mu dV \quad \dots (2)$$

Teniendo en cuenta que la partícula alcanzó una velocidad constante bajo el régimen laminar, se obtiene:

$$v = \frac{gd^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} \quad \dots (3)$$

## 2. Sedimentación Discontinua

El mecanismo de sedimentación se describe mejor en relación a las pruebas de sedimentación discontinua, las cuales forman diferentes zonas de concentración, según Coe y Clevenger<sup>5</sup>. En las pruebas de sedimentación discontinua la suspensión de concentración uniforme es dejada en reposo, en donde las partículas inician el descenso alcanzando velocidades constantes de caída, que vienen controladas por las condiciones del proceso. Rápidamente se forman diferentes zonas de concentración; en la parte superior aparece una zona A, formada por un líquido clarificado; seguido de una segunda zona, B, cuya concentración es constante y lo es también la velocidad de sedimentación, que es medida por la velocidad de descenso de la interfase entre la suspensión y el líquido clarificado. A continuación hay una capa C, cuya extensión varía según las características de la suspensión, siendo unas veces muy fina y ocupando otras veces toda la altura desde el límite de la superficie transparente hasta la zona siguiente; en esta zona la concentración en

<sup>1</sup> Badger, W., L., y Banchemo J., T. (1964). Introducción a la Ingeniería Química. México: Ed. McGraw-Hill, Pág. 655-680.

<sup>5</sup> Coe, H., S., and Clevenger, G., H., (1916). Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs., 55, 356.

sólidos varia con la altura. Finalmente aparece la zona de compresión, D, formada por un lodo compacto proceden de las capas superiores.

Al alcanzar el fondo, las capas inferiores se comprimen por el peso de los formando la zona de compresión, cuya altura va aumentando al depositarse las superiores. A medida que el desplazamiento progresa, las capas B y C finalmente desaparecen, quedando entonces solamente la zona de compresión, que lentamente va descendiendo hasta alcanzar una altura final constante, que representa el límite al que se puede comprimir el sólido suspendido en el líquido.

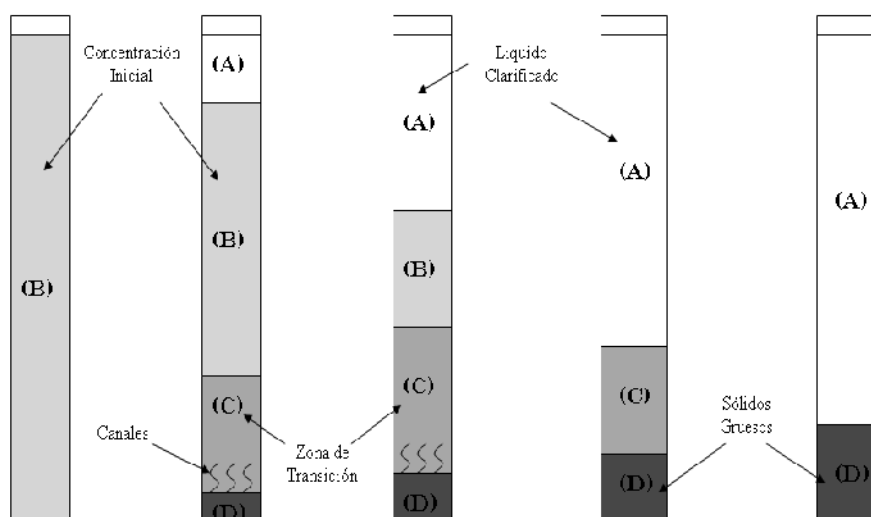


Figura 2. Pruebas típicas de Sedimentación Discontinua

### 3. Sedimentación Obstaculizada

Si la sedimentación se efectúa con altas concentraciones de sólidos, de tal manera que las partículas están tan próximas que las colisiones entre ellas son tan continuas y los descensos relativos de las partículas implican desplazamientos de las más ligeras por las más pesadas, se denomina *sedimentación obstaculizada*.

#### 4. La teoría de Kynch

El comportamiento de suspensiones concentradas durante la sedimentación ha sido analizado por Kynch<sup>12</sup> (1952). Los trabajos del análisis del comportamiento de espesadores son basados en función a los trabajos desarrollados por Kynch, por lo que desde este punto de vista vale entender su análisis.

Kynch encontró que la velocidad de sedimentación y la concentración en la zona que limita la capacidad, puede determinarse por una simple prueba de sedimentación discontinua.

Kynch comenzó a partir del postulado de que la velocidad de sedimentación,  $V$ , de una partícula es función únicamente de la concentración de los sólidos, es decir,

$$V = f(C) \quad \dots (4)$$

Pero la suposición de Kynch no es válida en toda una columna, en la cual una zona de compactación de sedimento se forma en la parte inferior. En la propia zona de compactación, la velocidad no solo depende de la concentración, sino también de la fuerza de la gradiente del sólido.

#### 5. Relación de Alturas o Concentración relativa

Ward and Kammermeyer<sup>28</sup> determinó que la altura final del lecho,  $H_{\infty}$ , por la cual sedimenta la suspensión, únicamente por efecto de la gravedad, es una función de la concentración inicial de la suspensión, tamaño de la partícula, e igual medida de la altura inicial,  $H_0$ . En donde pudo correlacionar los datos obtenidos experimentalmente en suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo con la concentración inicial de la suspensión. La relación entre la concentración de la suspensión

---

<sup>12</sup> Fitch, B. (1983). Kynch theory and compression zones. AIChE Journal, 29 (6), 940-946

<sup>28</sup> Ward, H., T., and Kammermeyer, K. (1940). Sedimentation in the Laboratory, Ind. Eng. Chem., 32, 622.

y la relación de alturas o la “*concentración relativa*” es representada por líneas rectas en papel log-log para un tamaño de partícula definida cuando la altura inicial se mantiene constante. El término “*concentración relativa*” introducido por Robinson, es la relación de la altura final con la altura inicial. Estas curvas son aplicadas para un sólido de un promedio de tamaño de partícula definido; con la posibilidad de que en diferentes distribuciones de tamaños de partícula, de iguales promedios de tamaño de partícula podría tener modificaciones adicionales en la pendiente de la curva.

Ward and Kammermeyer corroboraron dichas curvas para la mayoría de los datos presentados por Egolf y McCabe<sup>9</sup> con buen grado de correlación. La desviación de las líneas rectas era mínima, y las líneas eran paralelas para los diferentes tamaños de partículas. Las líneas rectas en papel log-log representan funciones del tipo,

$$\frac{H_{\infty}}{H_o} = \alpha (C_o)^{-N} \dots (5)$$

donde  $C_o$ , es la concentración inicial de la suspensión. El exponente  $N$  sería el mismo para cualquier sólido que ocupa una altura definida, y el factor  $\alpha$  debería ser proporcional al promedio del tamaño de partícula.

## 6. Factor de Forma

La forma de las partículas de los sólidos es una propiedad fundamental en polvos el cual afecta su compactación, y de este modo su densidad aparente, porosidad e interacción con el fluido. Una forma normal de expresar el factor de forma es hacerlo como la relación de la propiedad de la partícula a la propiedad de

---

<sup>9</sup> Egolf, C., B., and McCabe, W., L. (1937). Rate of sedimentation of flocculated particles. Trans. Am. Inst. Chem. Engrs., 33, 620 – 642.

una esfera que tiene un diámetro igual a la dimensión medida de la partícula. Por consiguiente, un factor de forma basado en el volumen es: volumen de la partícula / volumen de una esfera del mismo diámetro. El factor de forma que se utiliza más comúnmente es la esfericidad ( $\Psi$ ), se define  $\Psi$  como la relación del área superficial de una esfera de volumen igual al de la partícula, al área superficial de la partícula.

## 7. Porosidad del lecho

El tamaño y forma son básicamente propiedades de las partículas, aunque esto no es así con las distribuciones de tamaños de las partículas. Por lo general, la fase de partículas solidas debe involucrar algo más que las partículas que existen en ella. Esta fase puede existir como un lecho estacionario, un lecho fluidizado o una neblina. En cualquier caso, una de sus características más importantes es su fracción de volumen vacío o porosidad.

La importancia de la porosidad ha sido bastante reconocida y se han realizado muchos trabajos experimentales tratando de relacionar la porosidad con las propiedades de las partículas individuales. Estos trabajos han demostrado que la porosidad de lecho estático depende del tamaño de la partícula y la distribución de tamaños, la forma e irregularidades de la superficie de las partículas, el método de empaque y el tamaño del recipiente en relación con diámetro de la partícula.

## 8. Trabajos Previos

La ecuación (3) propuesta por Stokes (1851), para una esfera de diámetro  $d$  en un fluido infinito el cual se desplaza en un régimen laminar, determina la velocidad de sedimentación. Alternativamente, permite la estimación del diámetro de la partícula por el valor observado de la velocidad de sedimentación en las condiciones dadas por Stokes.

Robinson, basados en el trabajo de Adam y Glasson, escribe la ecuación de Stokes de la siguiente forma:

$$v = \frac{K d^2 (\rho_s - \rho)}{\mu} \dots (6)$$

donde K es un constante experimental y  $d$ , es la dimensión promedio de las partículas.

Al observar que la velocidad calculada usando la ecuación de Robinson difiere de los datos experimentales, Egolf y McCabe (1937) propone un método para la reconstrucción de las curvas de sedimentación la cual divide el proceso inicialmente en una línea recta o periodo de sedimentación libre y por un período final o de compresión. La correlación sugerida para el periodo de sedimentación libre es:

$$v = \frac{r^2 (\rho_s - \rho)}{\mu} \frac{H_0}{H_\infty} (0.415 - V_\infty)^{1.4} \dots (7)$$

en el cual,  $r$  es el radio medio de las partículas;  $H_0$ , altura inicial de la suspensión;  $H_\infty$ , altura final de la suspensión.

Además, la ecuación necesaria para la construcción del periodo de compresión presentado por Egolf y McCabe fue:

$$\log \frac{H_0}{H_\infty} = K_c \log(B\theta) \dots (8)$$

donde  $\theta$ , es el tiempo y  $K_c$  y  $B$ , son constantes de compresión.

Ward y Kammermeyer<sup>28</sup> (1940) encontró la relación entre la concentración de la suspensión y la relación de alturas o la “*concentración relativa*”, la cual es representada por líneas rectas en papel log-log para un tamaño de partícula definida cuando la altura inicial se mantiene constante.

Tiller (1981) generaliza la teoría de Kynch indicando que existe dos curvas de sedimentación, una en la parte superior que desciende la interfase del líquido claro y el otro es el ascenso del lodo acumulado en el fondo del sedimentador.

Fitch (1983) aplicando los conceptos propuestos por Kynch amplia y simplifica el método usado por Tiller el cual implica la medición de la variación de la zona de compresión.

En 1984, Vesilind y Zhang<sup>25</sup>, describe un método que mide la compactación de los sólidos de la suspensión,  $S_{f(t,z)}$ . Cuando los sólidos son centrifugados sedimentan al fondo del tubo, y la interfase entre el líquido y los sólidos compactados es visible. La compactación de los sólidos es calculado como sigue:

$$S_{f(t,z)} = \frac{H_o}{H_f} C_o \quad \dots \quad (9)$$

donde  $S_f$  es la concentración final de los sólidos compactados después de  $t$  segundos a  $z$  aceleración centrifugal (numero gravitacional) ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ),  $H_o$  es la altura inicial del lodo (m),  $H_f$  es la altura final del lodo compactado por la centrifuga (m).

Font (1988) analiza las suposiciones presentadas por Tiller y Fitch; y desarrolla un método para estimar la variación de la altura del sedimento con el tiempo cuando la zona de compresión no es visible.

---

<sup>25</sup> Vesilind, A., and Zhang, G. (1984). Technique for estimating sludge compactability in centrifugal dewatering. Journal WPCF, 56 (12), 1231-1237.

## IX. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 1. Preparación de Muestras:

#### 1.1. Equipo Experimental:

- Equipo Horiba LA-910, Particle Size Distribution Analyzer

(Laboratorio Industrias Vencedor S. A.).

- Estufa
- Picnómetro de capacidad de 50 ml con termómetro.
- Termómetro de escala 10 - 40°C
- Balanza analítica de sensibilidad de  $\pm 0.0005\text{g}$ .
- Desecador de vidrio
- Pizzeta
- Agua deionizada
- Carbonato de Calcio
- Sulfato de Bario
- Óxido de Plomo

#### 1.2. Metodología de trabajo:

##### a. Análisis de la densidad

La densidad de los sólidos se determinó con el picnómetro. Primeramente se pesó el picnómetro limpio en la balanza digital, con un volumen conocido del picnómetro; luego se llenó con agua destilada el picnómetro a una determinada temperatura del agua (temperatura de referencia N°1 es de 25 °C), obteniendo los datos de peso del agua dentro del picnómetro ( $M_1$ ). Luego secar el picnómetro; agregar al picnómetro el agua destilada (temperatura de referencia N° 2 es de 25°C) hasta aproximadamente  $\frac{1}{4}$  del picnómetro, pesar el picnómetro con el agua, seguido adicionar con cuidado la muestra del sólido (muestra previamente secada en la



estufa a una temperatura de 105 °C) y dispersar homogéneamente en el agua evitando que se derrame la suspensión, pesar y obtener el peso de la muestra ( $M_S$ ). Finalmente completar el picnómetro con agua destilada hasta el nivel y colocarle el termómetro, medir la temperatura (a 25°C); con el peso del agua agregada se determina el peso de la suspensión ( $M_3$ ).

- Calculo de la densidad del material:

$$\rho_{\text{Sólido}} = \frac{M_S}{\left[ \frac{M_1}{\rho_1} - \frac{M_2}{\rho_2} \right]} \dots (10)$$

Donde:

$M_S$ : Masa del Sólido.

$M_1$ : Masa del Liquido a la temperatura N° 1 (a 25°C)

$M_2$ : Masa del Liquido de la suspensión a la temperatura N° 2 (a 25°C)

$$M_2 = M_3 - M_S \dots (11)$$

$M_3$ : Masa de la Suspensión a la temperatura N° 2 (a 25°C).

Para el Carbonato de calcio químicamente puro, Mallinckrodt:

El peso del sólido:  $M_S = 1.5574$  g.

El peso de la masa del agua:

$$M_1 = 48.9931 \text{ g a } 25^\circ\text{C} (\rho^T = \text{a } 25^\circ\text{C} = 0.9970739 \text{ gr/ml})$$

La masa de la Suspensión:  $M_3 = 49.9704$ g a 25°C

$$M_2 = 48.4130\text{g}$$

$$\rho_{\text{sólido}} = 2.67 \text{ g/ml}$$

#### b. Análisis del tamaño de la partícula

El análisis del tamaño de la partícula se realizó en el equipo Horiba LA-910 (Laboratorio de Industrias Vencedor S.A.); este equipo es un analizador de tamaño de

partícula mediante la difracción de laser, el cual determina tanto el tamaño de la partícula promedio (media, mediana y moda) y su distribución en un rango de 0.02  $\mu\text{m}$  a 2000  $\mu\text{m}$ . El Horiba LA-910 consta por un sistema óptico; el cual, proporciona la colección de la luz dispersada en un ángulo por adelante, lateral y posterior. La luz dispersada por las partículas es inversamente proporcional a los tamaños de las partículas, en donde las partículas más grandes poseen un ángulo de la luz dispersada relativamente menor que el ángulo de las partículas más pequeñas. El método de la dispersión de la luz considera diferentes comportamientos y requiere introducir información sobre las propiedades ópticas de las partículas, como es el índice de refracción. El dato expresado del análisis del diámetro de la partícula en este trabajo, es la mediana (50%); debido a que la distribución de los datos presentados son asimétricos y por tal motivo se ve menos afectada por datos atípicos, en comparación con la media y la moda.

## 2. Resultados de las propiedades físicas de los materiales:

Tabla N° 1

### Propiedades físicas de las muestras de carbonato de calcio

| Carbonato de Calcio             | Gravedad específica | Diámetro de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------------------|---------------------|---|
| Químicamente puro, Mallinckrodt | 2.7                 | 24.8                                    |
| Micronizado FM-1000             | 2.7                 | 1.4                                     |
| Precipitado, El Nevado          | 2.6                 | 2.2                                     |
| Precipitado, Diamante Rojo      | 2.6                 | 6.9                                     |
| Carbonato TE 100                | 2.6                 | 18.2                                    |

Tabla N° 2

Propiedades físicas de las muestras de sulfato de bario

| Sulfato de Bario                     | Gravedad específica | Diámetro de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------------------------------|---------------------|---|
| Químicamente puro, Riedel de Haen AG | 4.1                 | 1.3                                     |
| Baritina blanca micronizada especial | 4.5                 | 1.5                                     |
| Baritina blanca micronizada          | 4.5                 | 3.6                                     |
| Baritina PM Grado API                | 4.1                 | 13.6                                    |
| Baritina comercial                   | 4.2                 | 22.0                                    |

Tabla N° 3

Propiedades físicas de las muestras de óxido de plomo

| Sulfato de Bario | Gravedad específica | Diámetro de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) |
|------------------|---------------------|---|
| Minio            | 9.1                 | 2.2                                     |
| Litargirio       | 9.5                 | 11.2                                    |

3. Sedimentación Discontinua:3.1. Equipo experimental:

- 6 tubos de vidrio de 52 hasta 57cm de altura con diámetro interno de 4.70 a 6.55cm.
- Tapones de caucho
- Cinta Teflón
- Cronómetro
- Papel milimetrado
- Calibrador Vernier
- Balanza analítica de sensibilidad de  $\pm 0.0005\text{g}$ .
- Balanza digital de sensibilidad de  $\pm 0.1\text{g}$

- Cinta adhesiva
- 01 vaso precipitado de 1 litro
  - 01 vaso precipitado de 500 ml
  - Agua deionizada
  - Carbonato de calcio
  - Sulfato de bario
  - Oxido de plomo

### 3.2. Metodología de trabajo:

Los equipos usados para realizar las pruebas de sedimentación discontinua consistieron de tubos de montados verticalmente con diámetros de 4.7 a 6.5 cm y aproximadamente de 52 a 57 cm de altura. Una cinta métrica se coloca hacia el tope del tubo y se cierra el recipiente con un tapón de caucho; los tubos utilizados poseían fondo plano y previamente graduado. Se prepararon suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

La sedimentación discontinua se inicia cuando la suspensión después de agitar se deja en reposo en los tubos de vidrio, altura inicial ( $H_0$ ); se observa la formación de una interfase entre el agua clarificada (aparece en la parte superior) y la suspensión. El progreso del movimiento hacia el fondo de esta interfase se tomo cada centímetro en función del tiempo, de esta forma los datos son representados en las curvas de sedimentación; a partir de la curva de sedimentación representa la velocidad de sedimentación (los cálculos para determinar de la velocidad de sedimentación se muestra en el Apéndice 5). Cuando la sedimentación esta completa, es importante dar el tiempo prolongado (2 a 3 días aproximadamente) necesario para que elimine el líquido del lecho compactado solamente bajo la fuerza de gravedad, finalmente se alcanza la altura de compresión o altura infinita

( $H_{\infty}$ ) del lecho. Después de la primera prueba de sedimentación, la suspensión es agitada nuevamente y se obtiene una segunda data, verificando la reproducibilidad de los datos.

- Calculo de la concentración de la suspensión:

La concentración de la suspensión se obtuvo aplicando un balance de materia tal como sigue:

$$C = \frac{\text{Masa de los sólidos}}{\text{Volumen de la suspensión}} = \frac{M_S}{V_S + V_L} \quad \dots (12)$$

donde, C (g/l) es la concentración de la suspensión,  $M_S$  (gr.) masa del sólido,  $V_S$  (litros) el volumen del sólido y  $V_L$  (litros) volumen del líquido.

Por definición el volumen de la partícula y el líquido es:  $V = M/\rho \quad \dots (13)$

Reemplazando en (12), se obtiene:

$$C = \frac{1000 \times M_S}{\frac{M_S}{\rho_S} + \frac{M_L}{\rho_L}} \quad \dots (14)$$

Así mismo el porcentaje de los sólidos en la suspensión es igual a:

$$\% W_S = \frac{M_S}{M_S + M_L} \quad \dots (15)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (14) y teniendo en cuenta que la densidad del agua a presión y temperatura ambiente es aproximadamente igual a 1000, siendo la forma final:

$$C = \frac{1000 \times (\%W_S)}{100 - \left[ \frac{\rho_S - \rho_L}{\rho_S} \right] \times (\%W_S)} \quad \dots (16)$$

## **X. TABULACION DE DATOS Y RESULTADOS**

### 1. Suspensiones de carbonato de calcio

#### 1.1. Carbonato de calcio químicamente puro

Tabla N° 4

Datos de Mallinckrodt, 24.1  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.7

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 126,2          | 34,8          | 5,4                | 3,82                                | 0,16           | 0,28                                    |
| 165,8          | 35,3          | 6,8                | 2,39                                | 0,19           | 0,30                                    |
| 204,1          | 35,8          | 8,4                | 1,81                                | 0,23           | 0,29                                    |
| 270,4          | 36,6          | 11,3               | 1,90                                | 0,31           | 0,29                                    |
| 340,0          | 37,9          | 14,6               | 0,70                                | 0,39           | 0,28                                    |

#### 1.2. Carbonato de calcio comerciales

Tabla N° 5

Datos de la Calcita Micronizada FM-1000, 2.4  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.7

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 49,1           | 52,3          | 4,9                | 1.09                                | 0.09           | 0.19                                    |
| 50,3           | 51,5          | 4,6                | 0.84                                | 0.09           | 0.21                                    |
| 60,2           | 52,6          | 6,0                | 0.62                                | 0.11           | 0.19                                    |
| 61,1           | 51,6          | 5,7                | 0.54                                | 0.11           | 0.20                                    |
| 70,7           | 46,5          | 6,1                | 0.44                                | 0.13           | 0.20                                    |
| 70,8           | 51,7          | 6,4                | 0.37                                | 0.12           | 0.21                                    |
| 80,1           | 46,8          | 6,8                | 0.33                                | 0.15           | 0.20                                    |
| 80,1           | 52,9          | 8,1                | 0.31                                | 0.15           | 0.19                                    |
| 90,1           | 47,1          | 8,0                | 0.21                                | 0.17           | 0.19                                    |
| 100,2          | 53,4          | 10,7               | 0.19                                | 0.20           | 0.18                                    |
| 100,4          | 46,2          | 9,8                | 0.18                                | 0.21           | 0.17                                    |
| 120,1          | 47,0          | 9,3                | 0.14                                | 0.20           | 0.22                                    |
| 120,3          | 53,7          | 11,4               | 0.16                                | 0.23           | 0.19                                    |
| 140,3          | 50,6          | 12,6               | 0.11                                | 0.25           | 0.20                                    |
| 145,4          | 47,1          | 13,6               | 0.10                                | 0.29           | 0.18                                    |
| 160,3          | 50,9          | 16,0               | 0.08                                | 0.31           | 0.18                                    |

Tabla N° 5 (*Continuación*)Datos de la Calcita Micronizada FM-1000, 2.4  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.7

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 165,4          | 54,5          | 17,6               | 0.08                                | 0.32           | 0.18                                    |
| 181,8          | 51,1          | 16,8               | 0.07                                | 0.33           | 0.19                                    |
| 181,9          | 46,8          | 14,1               | 0.06                                | 0.30           | 0.21                                    |
| 198,9          | 47,0          | 16,5               | 0.06                                | 0.35           | 0.20                                    |
| 200,3          | 46,7          | 17,1               | 0.06                                | 0.37           | 0.19                                    |
| 230,0          | 47,2          | 20,3               | 0.05                                | 0.43           | 0.18                                    |
| 236,6          | 46,9          | 18,5               | 0.06                                | 0.39           | 0.20                                    |
| 255,6          | 43,4          | 17,3               | 0.05                                | 0.40           | 0.22                                    |
| 299,8          | 48,3          | 26,4               | 0.03                                | 0.55           | 0.18                                    |

Tabla N° 6

Datos del precipitado El Nevado, 2.8  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.6

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 38.9           | 39.8          | 2.4                | -                                   | 0.06           | 0.25                                    |
| 49.9           | 48.7          | 4.0                | 1.65                                | 0.08           | 0.23                                    |
| 59.9           | 48.7          | 5.0                | 1.42                                | 0.10           | 0.22                                    |
| 60.4           | 48.9          | 4.9                | 1.22                                | 0.10           | 0.23                                    |
| 70.0           | 41.7          | 4.4                | 0.96                                | 0.10           | 0.25                                    |
| 75.7           | 48.7          | 6.1                | 0.86                                | 0.12           | 0.23                                    |
| 86.4           | 48.7          | 6.7                | 0.63                                | 0.14           | 0.24                                    |
| 90.0           | 45.9          | 6.9                | 0.57                                | 0.15           | 0.23                                    |
| 97.1           | 48.7          | 8.0                | 0.46                                | 0.16           | 0.22                                    |
| 100.5          | 48.7          | 7.5                | 0.48                                | 0.15           | 0.24                                    |
| 106.8          | 48.8          | 8.6                | 0.35                                | 0.18           | 0.23                                    |
| 120.0          | 44.9          | 8.4                | 0.31                                | 0.19           | 0.24                                    |
| 130.0          | 45.0          | 8.9                | 0.24                                | 0.20           | 0.24                                    |
| 142.0          | 48.7          | 10.3               | 0.18                                | 0.21           | 0.25                                    |
| 160.0          | 41.9          | 10.0               | 0.16                                | 0.24           | 0.25                                    |
| 168.7          | 40.7          | 10.6               | 0.15                                | 0.26           | 0.24                                    |
| 180.0          | 44.4          | 11.3               | 0.14                                | 0.25           | 0.26                                    |
| 180.0          | 44.4          | 11.3               | 0.14                                | 0.25           | 0.26                                    |
| 187.9          | 49.0          | 12.8               | 0.10                                | 0.26           | 0.26                                    |
| 210.0          | 48.7          | 14.2               | 0.09                                | 0.29           | 0.26                                    |
| 347.5          | 39.2          | 20.4               | 0.03                                | 0.52           | 0.23                                    |

Tabla N° 7

Datos del precipitado Diamante Rojo, 7.7  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.6

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 49.9           | 44.6          | 3.2                | 2.47                                | 0.06           | 0.30                                    |
| 70.2           | 45.0          | 4.1                | 1.55                                | 0.09           | 0.30                                    |
| 80.1           | 52.0          | 5.2                | 1.47                                | 0.10           | 0.30                                    |
| 80.1           | 52.0          | 5.2                | 1.39                                | 0.10           | 0.30                                    |
| 99.9           | 45.5          | 6.0                | 0.92                                | 0.11           | 0.32                                    |
| 120.1          | 52.7          | 7.0                | 0.64                                | 0.14           | 0.32                                    |
| 120.1          | 52.7          | 7.2                | 0.64                                | 0.14           | 0.32                                    |
| 146.4          | 46.2          | 7.6                | 0.33                                | 0.17           | 0.31                                    |
| 169.8          | 53.6          | 10.6               | 0.18                                | 0.19           | 0.32                                    |

Tabla N° 8

Datos del Carbonato TE 100, 18.2  $\mu\text{m}$ , g. e. 2.6

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 92.9           | 48.5          | 4.3                | -                                   | 0.09           | 0.39                                    |
| 138.1          | 48.7          | 6.4                | 2.55                                | 0.13           | 0.38                                    |
| 173.7          | 48.6          | 8.3                | 1.89                                | 0.17           | 0.36                                    |
| 265.8          | 49.5          | 11.5               | 1.06                                | 0.23           | 0.39                                    |
| 451.6          | 49.0          | 18.3               | 0.40                                | 0.37           | 0.38                                    |
| 494.9          | 48.7          | 19.9               | 0.32                                | 0.41           | 0.37                                    |
| 564.4          | 48.7          | 22.4               | 0.18                                | 0.46           | 0.37                                    |
| 747.0          | 48.2          | 26.9               | 0.13                                | 0.56           | 0.36                                    |



## 2. Suspensiones de sulfato de bario

### 2.1. Sulfato de bario químicamente puro

Tabla N° 9

Datos del Riedel de Haen AG, 1.6  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.1

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 70.0           | 46.9          | 5.5                | 1.37                                | 0.12           | 0.14                                    |
| 80.2           | 46.9          | 6.3                | 1.03                                | 0.13           | 0.14                                    |
| 89.9           | 35.8          | 5.3                | 0.71                                | 0.15           | 0.15                                    |
| 89.9           | 35.8          | 5.4                | 0.76                                | 0.15           | 0.14                                    |
| 101.1          | 36.3          | 6.0                | 0.56                                | 0.17           | 0.15                                    |
| 101.1          | 36.3          | 6.0                | 0.61                                | 0.17           | 0.15                                    |
| 119.7          | 36.9          | 7.3                | 0.44                                | 0.20           | 0.14                                    |
| 129.4          | 44.5          | 9.4                | 0.41                                | 0.21           | 0.15                                    |
| 160.5          | 37.4          | 9.7                | 0.31                                | 0.26           | 0.15                                    |
| 159.8          | 44.6          | 11.2               | 0.33                                | 0.25           | 0.15                                    |

### 2.2. Sulfato de bario comercial

Tabla N° 10

Datos de la Baritina blanca micronizada especial, 2.3  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.5

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 94.8           | 45.5          | 3.8                | 3.25                                | 0.08           | 0.25                                    |
| 120.3          | 45.7          | 4.5                | 2.40                                | 0.10           | 0.26                                    |
| 150.2          | 46.0          | 5.6                | 1.71                                | 0.12           | 0.26                                    |
| 198.4          | 44.0          | 7.0                | 0.84                                | 0.16           | 0.26                                    |
| 250.1          | 44.5          | 8.6                | 0.59                                | 0.19           | 0.27                                    |
| 300.2          | 44.9          | 10.2               | 0.42                                | 0.23           | 0.27                                    |
| 400.2          | 46.0          | 13.7               | 0.25                                | 0.30           | 0.27                                    |

Tabla N° 11

Datos de la Baritina blanca micronizada, 3.6  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.5

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 100,0          | 46,8          | 3,4                | 5,47                                | 0,07           | 0,31                                    |
| 124,3          | 46,9          | 4,1                | 4,70                                | 0,09           | 0,31                                    |
| 140,1          | 47,1          | 4,6                | 4,24                                | 0,10           | 0,32                                    |
| 153,1          | 46,7          | 5,3                | 3,90                                | 0,11           | 0,30                                    |
| 160,1          | 47,0          | 5,0                | 3,47                                | 0,11           | 0,33                                    |
| 200,0          | 47,0          | 6,5                | 2,89                                | 0,14           | 0,31                                    |
| 230,0          | 47,3          | 7,3                | 2,14                                | 0,15           | 0,32                                    |
| 270,0          | 47,5          | 8,5                | 1,50                                | 0,18           | 0,32                                    |

Tabla N° 12

Datos de Baritina PM Grado API, 13.6  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.1

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 233.2          | 45.8          | 5.9                | 2.54                                | 0.13           | 0.42                                    |
| 270.1          | 46.4          | 6.7                | 2.13                                | 0.14           | 0.43                                    |
| 300.1          | 46.7          | 7.5                | 1.86                                | 0.16           | 0.43                                    |
| 350.2          | 47.2          | 9.0                | 1.51                                | 0.19           | 0.41                                    |
| 400.3          | 47.6          | 10.2               | 1.17                                | 0.21           | 0.41                                    |
| 450.2          | 44.6          | 10.7               | 0.99                                | 0.24           | 0.41                                    |
| 500.2          | 45.3          | 11.5               | 0.71                                | 0.25           | 0.42                                    |
| 550.1          | 46.0          | 13.2               | 0.55                                | 0.29           | 0.41                                    |
| 600.2          | 46.5          | 14.4               | 0.44                                | 0.31           | 0.41                                    |

Tabla N° 13

Datos de Baritina Comercial, 22.0  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.2

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 135.7          | 48.7          | 3.8                | -                                   | 0.08           | 0.40                                    |
| 205.7          | 48.3          | 5.5                | -                                   | 0.11           | 0.41                                    |
| 308.4          | 47.9          | 8.1                | 3.69                                | 0.17           | 0.40                                    |
| 417.9          | 48.9          | 11.2               | 2.76                                | 0.23           | 0.39                                    |
| 487.2          | 48.3          | 12.9               | 1.99                                | 0.27           | 0.38                                    |
| 639.6          | 48.8          | 16.4               | 0.95                                | 0.34           | 0.38                                    |

### 3. Suspensiones de óxido de plomo

Tabla N° 14

Datos del Minio, 2.2  $\mu\text{m}$ , g. e. 9.1

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 378.1          | 36.7          | 7.0                | 2.73                                | 0.19           | 0.21                                    |
| 430.0          | 40.1          | 8.6                | 1.60                                | 0.21           | 0.21                                    |
| 472.8          | 36.7          | 8.6                | 1.89                                | 0.23           | 0.21                                    |
| 551.0          | 37.4          | 10.2               | 1.03                                | 0.27           | 0.21                                    |
| 641.1          | 37.5          | 11.9               | 0.74                                | 0.32           | 0.21                                    |

Tabla N° 15

Datos del Litargirio, 11.2  $\mu\text{m}$ , g. e. 9.5

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 353.9          | 39.3          | 3.4                | -                                   | 0.09           | 0.41                                    |
| 460.0          | 37.8          | 4.3                | 6.47                                | 0.11           | 0.41                                    |
| 558.5          | 37.5          | 5.1                | 4.58                                | 0.14           | 0.41                                    |
| 655.8          | 37.5          | 5.9                | 3.35                                | 0.16           | 0.41                                    |
| 750.1          | 37.4          | 6.8                | 2.23                                | 0.18           | 0.40                                    |

#### 4. Resultados de datos presentados en las referencias citadas

##### 4.1. Suspensiones de carbonato de calcio

##### 4.1.1. Carbonato de calcio

Tabla N° 16

Datos de E. W. Comings, 1940

| C <sub>o</sub><br>(g/L) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 45.0                    | 0.58                                |
| 54.8                    | 0.35                                |
| 57.9                    | 0.31                                |
| 63.9                    | 0.25                                |
| 74.5                    | 0.19                                |
| 123.0                   | 0.08                                |
| 161.3                   | 0.04                                |

Tabla N° 17

Datos de R. Lama, 1963

| C <sub>o</sub><br>(g/l) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | C <sub>o</sub><br>(g/l) | H <sub>∞</sub> /H <sub>o</sub> | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---|
| 35.0                    | 0.42                                | 18.3                    | 0.07                           | 0.09                                    |
| 62.0                    | 0.17                                | 29.5                    | 0.11                           | 0.10                                    |
| 63.0                    | 0.18                                | 45.0                    | 0.16                           | 0.10                                    |
| 70.0                    | 0.14                                | 51.0                    | 0.16                           | 0.12                                    |
| 74.0                    | 0.13                                | 60.0                    | 0.20                           | 0.11                                    |
| 90.0                    | 0.09                                | 63.0                    | 0.21                           | 0.11                                    |
| 92.0                    | 0.09                                | 92.0                    | 0.30                           | 0.11                                    |
| 100.0                   | 0.08                                | 100.0                   | 0.36                           | 0.10                                    |
| 125.0                   | 0.05                                | 127.5                   | 0.41                           | 0.11                                    |
| 125.0                   | 0.06                                | 152.0                   | 0.46                           | 0.12                                    |
| 152.0                   | 0.04                                | 295.0                   | 0.82                           | 0.12                                    |
| 190.0                   | 0.03                                |                         |                                |   |

Tabla N° 18

Datos de Brady, 1963

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 24.8           | 65.0          | 8.5                | 1.18                                | 0.13           | 0.07                                    |
| 25.0           | 33.1          | 3.80               | 1.00                                | 0.11           | 0.08                                    |
| 39.4           | 74.2          | 11.0               | 0.52                                | 0.15           | 0.10                                    |
| 40.0           | 32.1          | 5.40               | 0.41                                | 0.17           | 0.09                                    |
| 59.8           | 32.5          | 7.00               | 0.18                                | 0.22           | 0.10                                    |
| 82.3           | 136           | 46.9               | 0.10                                | 0.35           | 0.09                                    |
| 105.5          | 99.7          | 33.5               | 0.07                                | 0.34           | 0.11                                    |
| 110.3          | 32.9          | 12.6               | 0.06                                | 0.38           | 0.10                                    |
| 140.1          | 32.1          | 14.4               | 0.05                                | 0.45           | 0.11                                    |

Tabla N° 19

Datos de Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940, 12.6  $\mu$ m, g.e. 2.6

| $C_o$<br>(g/l) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|----------------|---|
| 30.5           | 0.15           | 0.08                                    |
| 84.0           | 0.30           | 0.10                                    |
| 141.0          | 0.49           | 0.10                                    |
| 202.0          | 0.66           | 0.11                                    |
| 240.7          | 0.75           | 0.11                                    |
| 254.0          | 0.76           | 0.12                                    |
| 294.9          | 0.88           | 0.11                                    |
| 309.0          | 0.88           | 0.12                                    |

#### 4.2. Suspensiones de sulfato de bario

Tabla N° 20

Datos de Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940, 18.0  $\mu\text{m}$ , g. e. 4.2

| $C_o$<br>(g/l) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|----------------|---|
| 30.6           | 0.06           | 0.13                                    |
| 51.9           | 0.10           | 0.13                                    |
| 85.0           | 0.15           | 0.14                                    |
| 131.8          | 0.20           | 0.15                                    |
| 169.0          | 0.26           | 0.15                                    |
| 208.1          | 0.32           | 0.15                                    |
| 235.4          | 0.33           | 0.16                                    |
| 308.0          | 0.41           | 0.17                                    |
| 339.0          | 0.48           | 0.16                                    |
| 387.8          | 0.50           | 0.17                                    |
| 533.3          | 0.60           | 0.19                                    |
| 573.6          | 0.69           | 0.17                                    |

#### 4.3. Suspensiones de óxido de plomo

Tabla N° 21

Datos C. Condorhuamán, 1998, g. e. 9.2

| $C_o$<br>(g/L) | $H_o$<br>(cm) | $H_\infty$<br>(cm) | Velocidad<br>Sedimentación (cm/min) | $H_\infty/H_o$ | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)}$ |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| 248.0          | 35.2          | 3.8                | -                                   | 0.11           | 0.24                                    |
| 300.0          | 34.0          | 3.2                | 7.99                                | 0.09           | 0.34                                    |
| 300.0          | 34.0          | 3.2                | 7.99                                | 0.09           | 0.34                                    |
| 359.9          | 35.2          | 5.5                | 6.18                                | 0.15           | 0.24                                    |
| 400.0          | 33.0          | 4.5                | 4.89                                | 0.14           | 0.30                                    |
| 511.2          | 35.2          | 7.7                | 3.72                                | 0.22           | 0.24                                    |
| 600.0          | 34.0          | 7.5                | 3.32                                | 0.22           | 0.28                                    |
| 900.0          | 34.0          | 11.0               | 1.31                                | 0.32           | 0.27                                    |

## **XI. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

Los resultados son presentados y discutidos separadamente en dos secciones: zona de concentración uniforme y zona de compresión, en suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

### **1. Velocidad de sedimentación o zona de concentración uniforme**

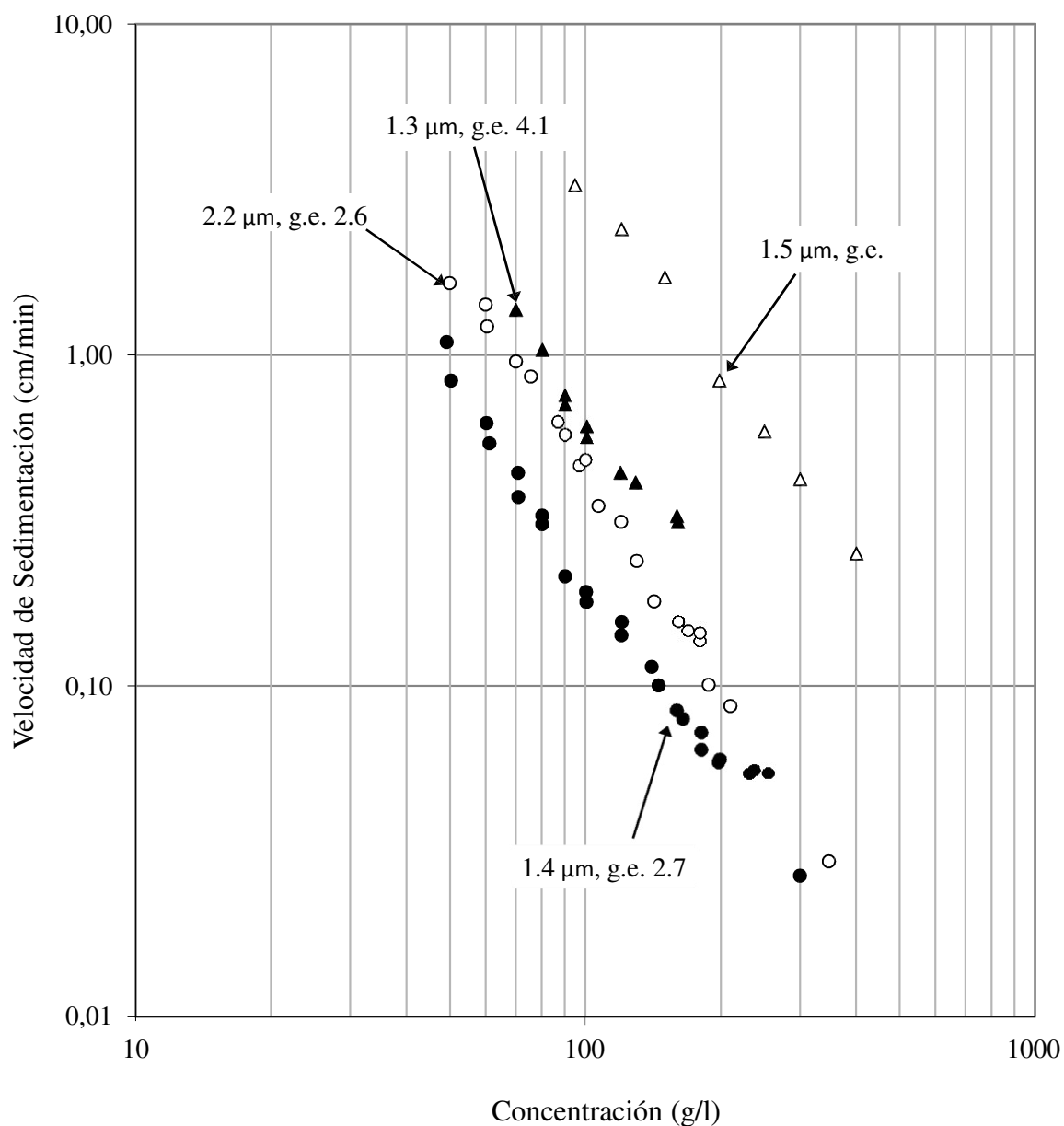
Los resultados obtenidos de la zona de concentración uniforme en suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo son dados en las tablas del 4 – 14. Los datos fueron correlacionados acorde con la ecuación (4), teoría de Kynch<sup>1</sup>, quien supone que la velocidad de sedimentación es una función de la concentración de los sólidos. Los valores de velocidad de sedimentación son obtenidos de las gráficas de altura de la interfase del liquido clarificado y la suspensión en función del tiempo (Apéndice 7); en la cual, se aplica una regresión lineal sobre la sección recta de la gráfica (zona de concentración uniforme), hallando su mejor correlación de la recta, la cual resulta la velocidad de sedimentación.

De las figuras 3 - 5, se observa una correlación inversamente proporcional de la velocidad de sedimentación a la concentración inicial de la suspensión; es decir, a mayor velocidad de sedimentación menor es la concentración inicial de la suspensión. Las figuras muestran los valores de la velocidad sedimentación en función de la concentración inicial de la suspensión para las diferentes muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en los rangos estudiados. Los valores ploteados muestran líneas rectas en papel log-log con pendientes negativas paralelas entre sí, donde se puede expresar de la siguiente forma:

$$V = K(C)^{-b} \dots (17)$$

---

<sup>1</sup> Fitch, B. (1983). Kynch theory and compression zones. AIChE Journal, 29 (6), 940-946.



Carbonato de Calcio:

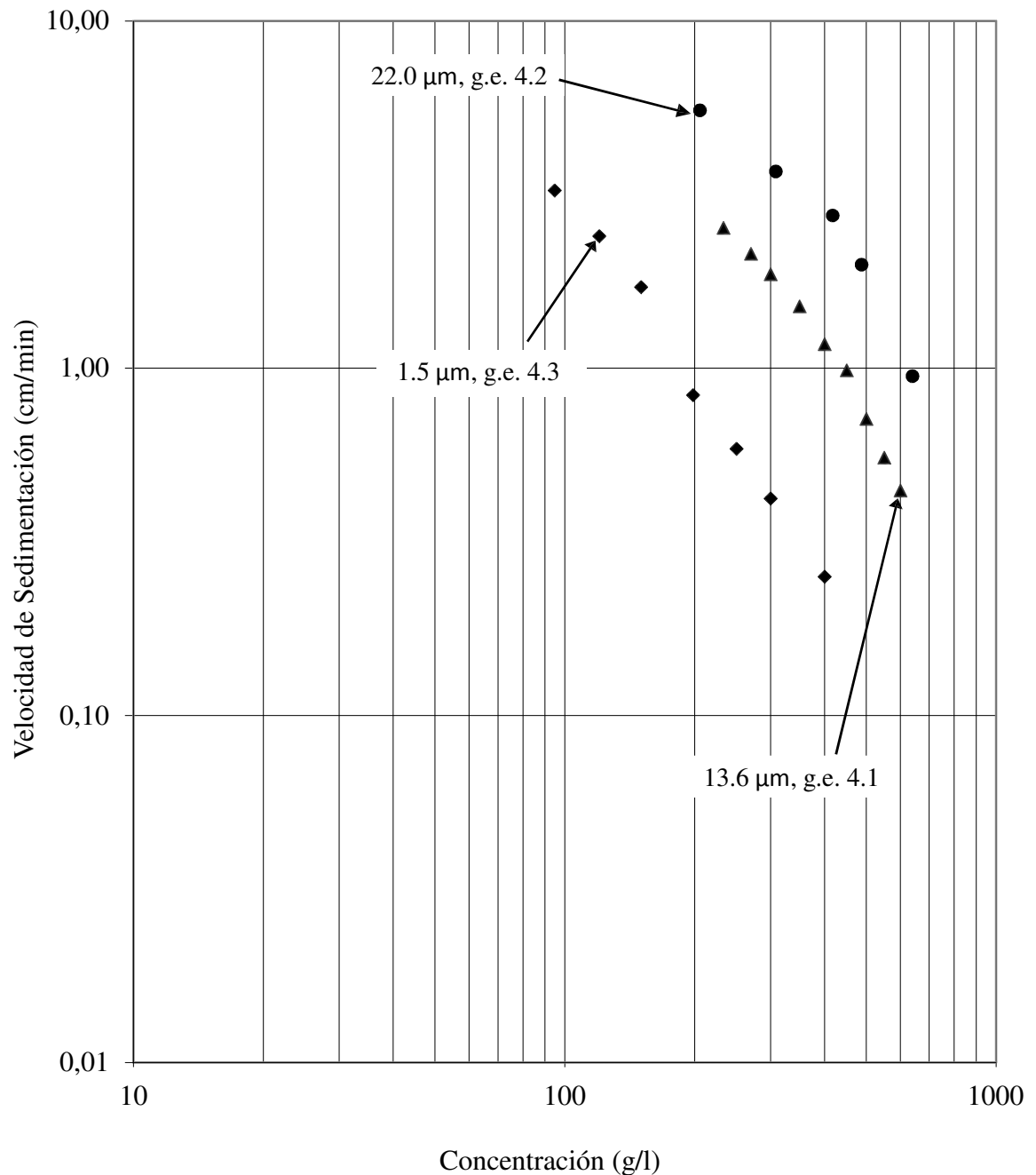
- Micronizada FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7
- Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

Sulfato de Bario:

- ▲ Químicamente Puro, Riedel de Haen AG, 1.3  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1
- △ Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5

Figura 3. Efecto del Tipo de sólido en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas.



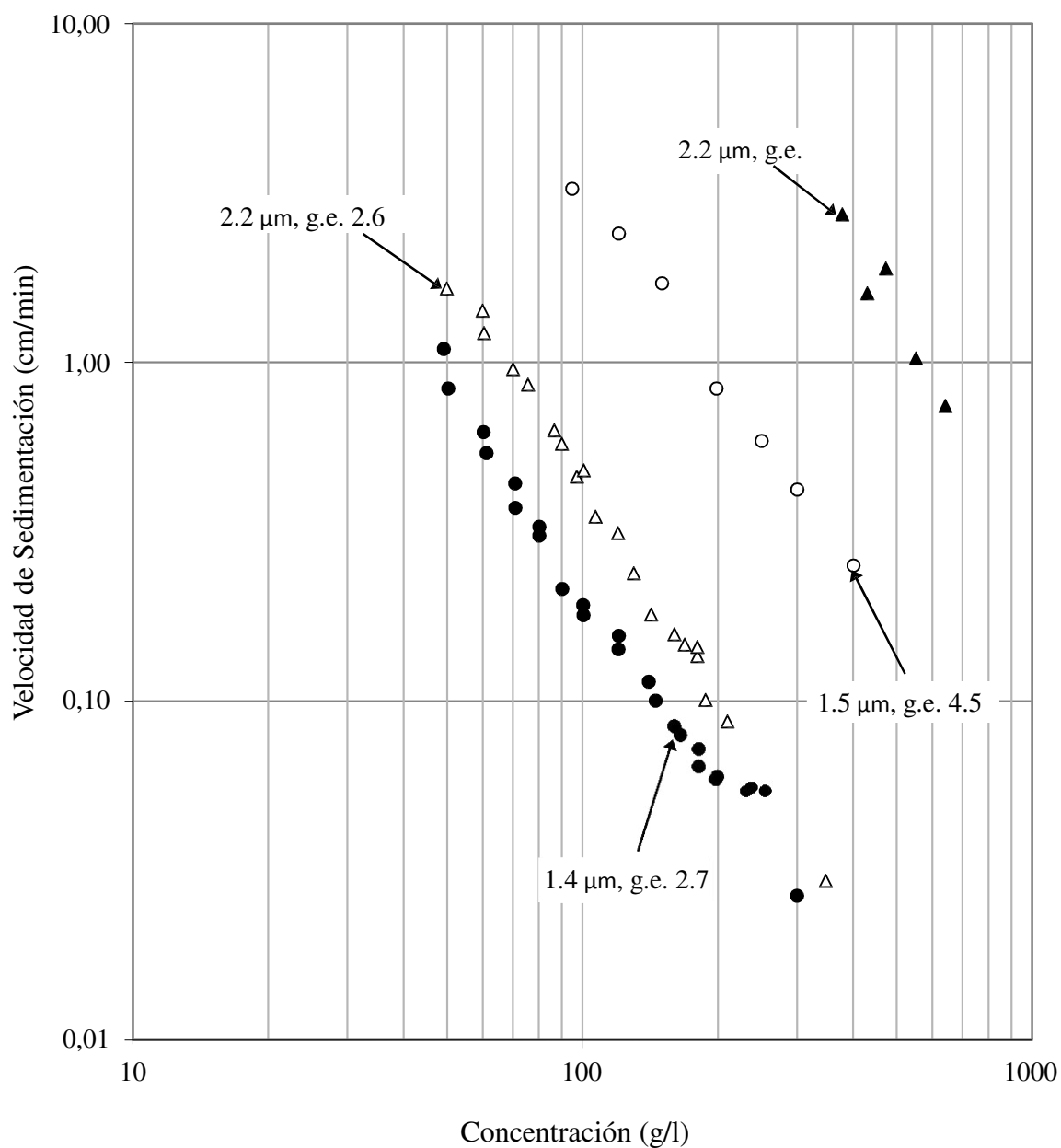


◆ Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1,5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5

▲ Baritina PM Grado API (Agregados Calcareos), 13.6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1

● Baritina Comercial, 22.0  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.2

**Figura 4.** Efecto del tamaño de la partícula en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas.



- Carbonato de Calcio:
- Micronizada FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7
  - △ Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6
- Sulfato de Bario:
- Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5
- Oxido de Plomo:
- ▲ Óxido de Plomo Minio, 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 9.1

**Figura 5.** Efecto del gravedad específica en la velocidad de sedimentación en suspensiones acuosas.

en donde  $V$  es la velocidad de sedimentación, cm/min;  $C$  es la concentración inicial de la suspensión g/l.  $K$  es una constante de proporcionalidad y  $b$  es la pendiente adimensional. Los valores de las constantes en la ecuación (17) son determinados por el método de mínimos cuadrados y son mostrados en las tablas 26 – 28 (apéndice 1).

La desviación estándar entre los datos experimentales y calculados de la velocidad de sedimentación es dada en la columna 6 de las tablas del 26 – 28. La reproducibilidad de los valores de velocidad de sedimentación, puede pensarse con un 95% de probabilidades que los valores no varían significativamente y se pueden considerar constantes dentro del error experimental. Los ejemplos de los cálculos son presentados en el apéndice 4.

Los resultados de la varianza son presentados en la columna 8 y 9 de las tablas del 26 – 28. Son efectuados para una hipótesis nula donde la pendiente  $b$ , de la ecuación (17) sea estadísticamente nula. La hipótesis es rechazada indicando que hay una evidencia suficiente para señalar que existe una correlación lineal entre los parámetros de la ecuación (17) con un 95% de probabilidad. Concluyendo que el modelo de regresión lineal es adecuado para expresar la relación entre la velocidad de sedimentación y la concentración inicial de la suspensión en los rangos de concentración estudiados.

La formación de una interfase difusa (múltiple fases) entre el líquido clarificado y la suspensión, en concentraciones diluidas es debida al amplio rango del tamaño de partículas. Dando una velocidad de sedimentación inferior a la calculada, existiendo la posibilidad que esté probablemente fuera del intervalo lineal. Usando la prueba  $t$  muestra, a un 95% de intervalo de confianza, que este residuo es significativamente más grande que el promedio de los otros. Estableciendo que este punto puede excluirse del intervalo lineal. Un ejemplo amplio es presentado en el Apéndice 4.

En la figura 3 muestra suspensiones de carbonato de calcio y sulfato de bario, en donde a 160 g/l el Sulfato de Bario químicamente puro Riedel de Haen AG de  $1.3 \mu\text{m}$

presenta una velocidad de sedimentación de 0.31 cm/min y la Baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$  presenta una velocidad de 1.71 cm/min. Se concluye, que la velocidad de sedimentación depende del tipo de material.

De la figuras 4 se observa que la Baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$ , la Baritina PM Grado API de 13.6  $\mu\text{m}$  y Baritina Comercial de 22.0  $\mu\text{m}$ , presentan velocidades de sedimentación a 300 g/l de 0.42 cm/min, 1.86 cm/min y 3.69 cm/min respectivamente; se observa que la velocidad de sedimentación es directamente proporcional al tamaño de la partícula; es decir, a mayor tamaño de la partícula mayor es la velocidad de sedimentación.

Mientras que en la figura 5 muestra para una concentración de 350 g/l las velocidades de sedimentación son de 0.03 cm/min y 2.73 cm/min para el Carbonato de calcio Precipitado El Nevado de 2.2  $\mu\text{m}$  y Minio de 2.2  $\mu\text{m}$  para gravedades específicas de 2.6 y 9.1 respectivamente. Se concluye que la velocidad de sedimentación es directamente proporcional a la gravedad específica del sólido; es decir, a mayor velocidad de sedimentación, mayor es la gravedad específica del sólido.

## 2. Zona de compresión o compactación

Los resultados en la zona de compresión estudiada, determinados de las suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo son dados en las tablas 4 – 14.

Los datos obtenidos de la zona de compresión son discutidos en dos maneras útiles de representar los resultados de compresión.

### 2.1. Primera presentación de los datos

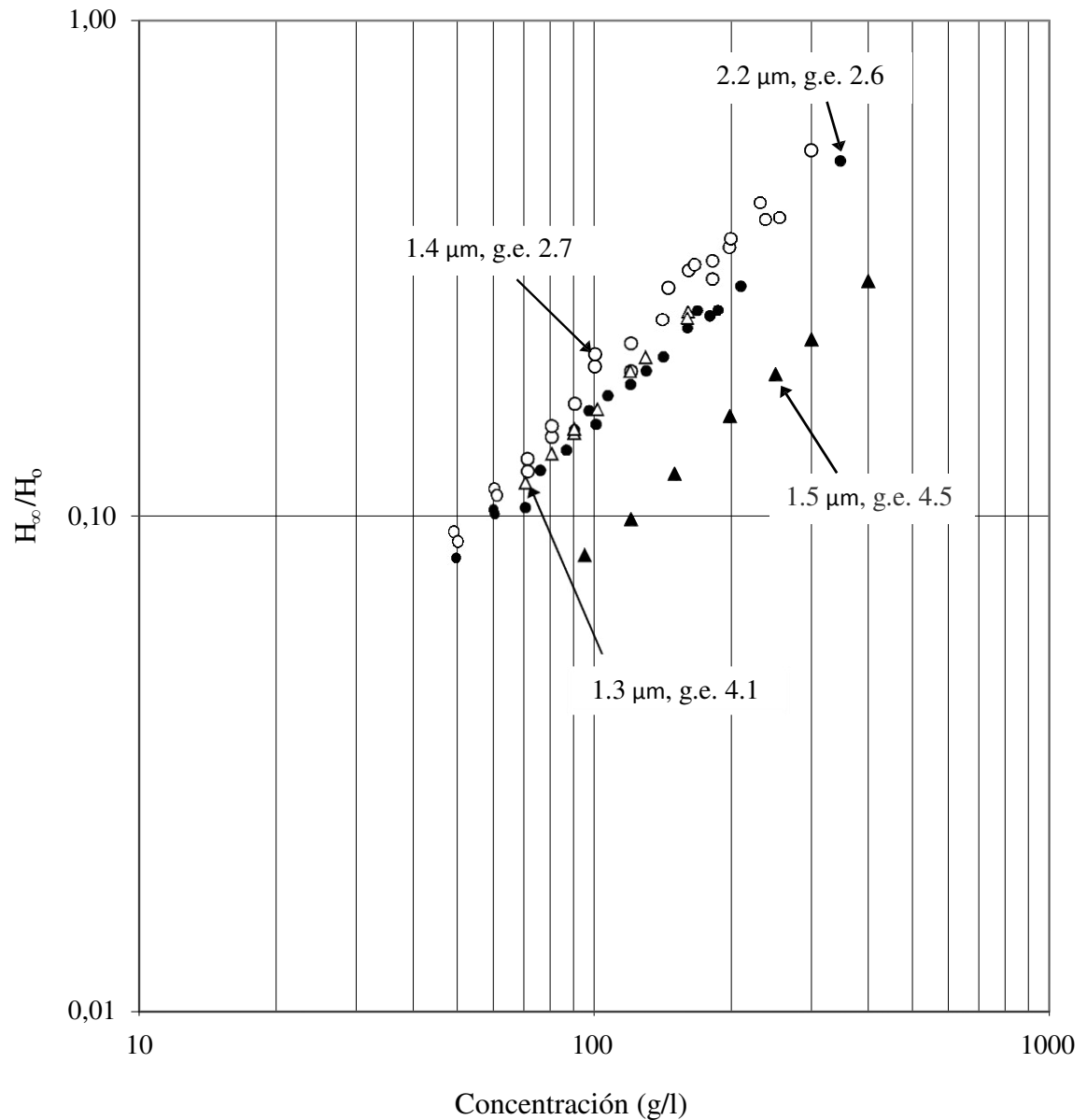
Los datos son correlacionados acorde a la ecuación (5), postulados por Ward and Kammermeyer<sup>2</sup>. Las figuras 6 - 8, muestran los valores de concentración relativa,  $H_{\infty}/H_0$ , en función de la concentración para las diferentes suspensiones en los rangos de concentración estudiadas. En los planteos de la figuras 6 - 8 originan líneas rectas en papel log-log con pendientes positivas; esto indica que la concentración relativa es directamente proporcional a la concentración inicial de la suspensión; es decir, a mayor concentración relativa, mayor es la concentración inicial de la suspensión. Los valores de las constantes en la ecuación (5) son determinados por el método de mínimos cuadrados y mostrado en las tablas del 29 – 31 (apéndice 2).

Para estimar si los puntos experimentales se ajustan bien o no a una línea recta, se calcula el coeficiente de determinación,  $R^2$ , y la prueba de hipótesis sobre los parámetros presentados en las tablas 29 – 31; concluyendo que el modelo de regresión lineal es adecuado para expresar la relación entre la concentración relativa y la concentración inicial de la suspensión, con un 95% de intervalo de confianza en los rangos estudiados. La desviación estándar entre los datos experimentales y los valores calculados de la concentración relativa son dados en la columna 6 de las tablas 29 – 31. La reproducibilidad de los valores no varía significativamente y se considera constantes dentro del error experimental. Los ejemplos de los cálculos son representados en el apéndice 4.

Los resultados de la varianza son presentados en las columnas 8 y 9 de las tablas 29 – 31. Son efectuados para una hipótesis nula donde la pendiente,  $N$ , de la ecuación (5) sea estadísticamente nula. La hipótesis es rechazada, esto indica que hay evidencia suficiente para señalar que existe correlación lineal entre los parámetros de la ecuación (5) con un

---

<sup>2</sup> Ward, H., T., and Kammermeyer, K. (1940). Sedimentation in the Laboratory, Ind. Eng. Chem., 32, 622.



Carbonato de Calcio:

$\circ$  Micronizado FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

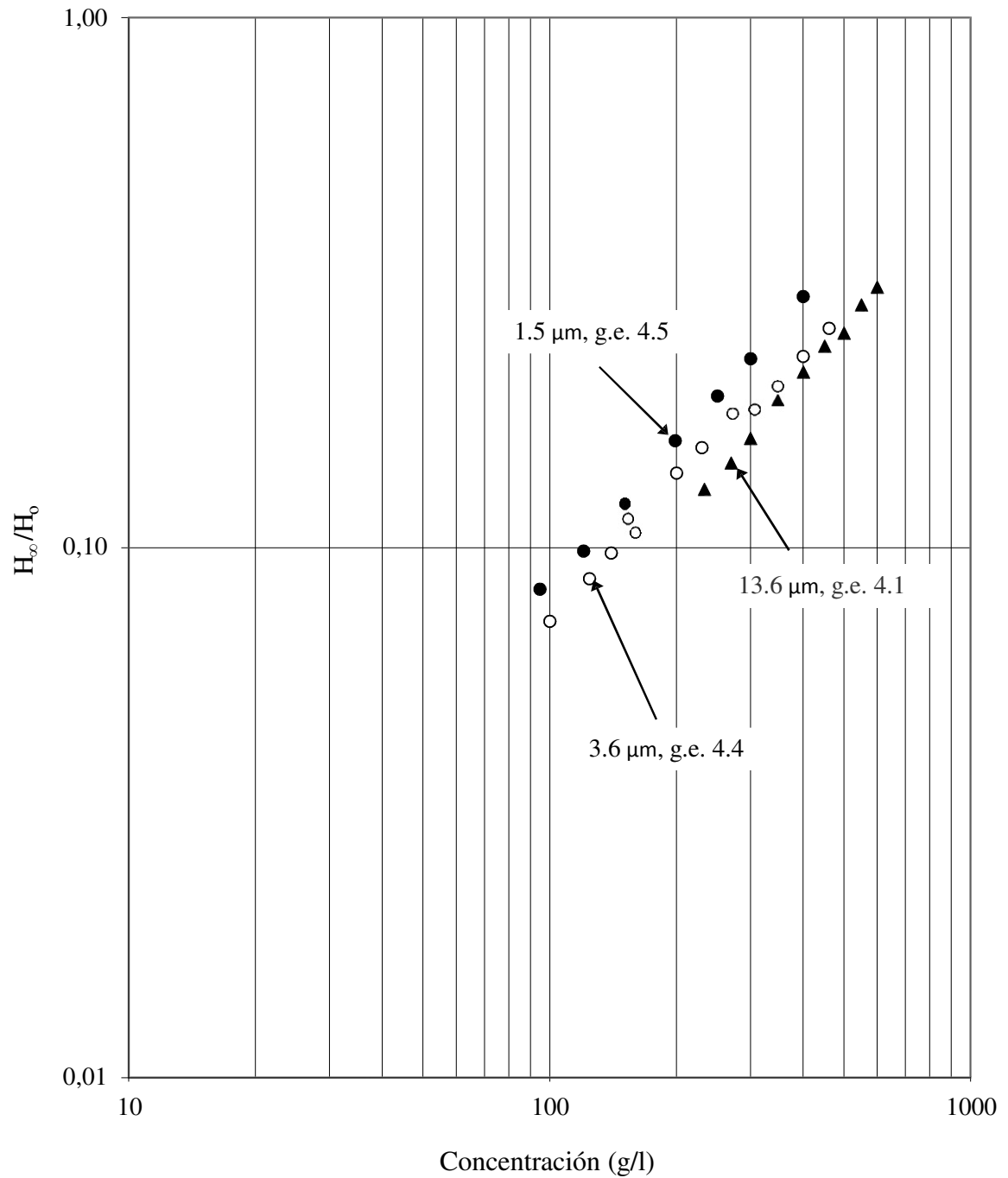
$\bullet$  Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

Sulfato de Bario:

$\triangle$  Químicamente puro, Riedel de Haen AG, 1.3  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1

$\blacktriangle$  Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5

**Figura 6.** Efecto del Tipo de sólido en la concentración relativa en suspensiones acuosas.



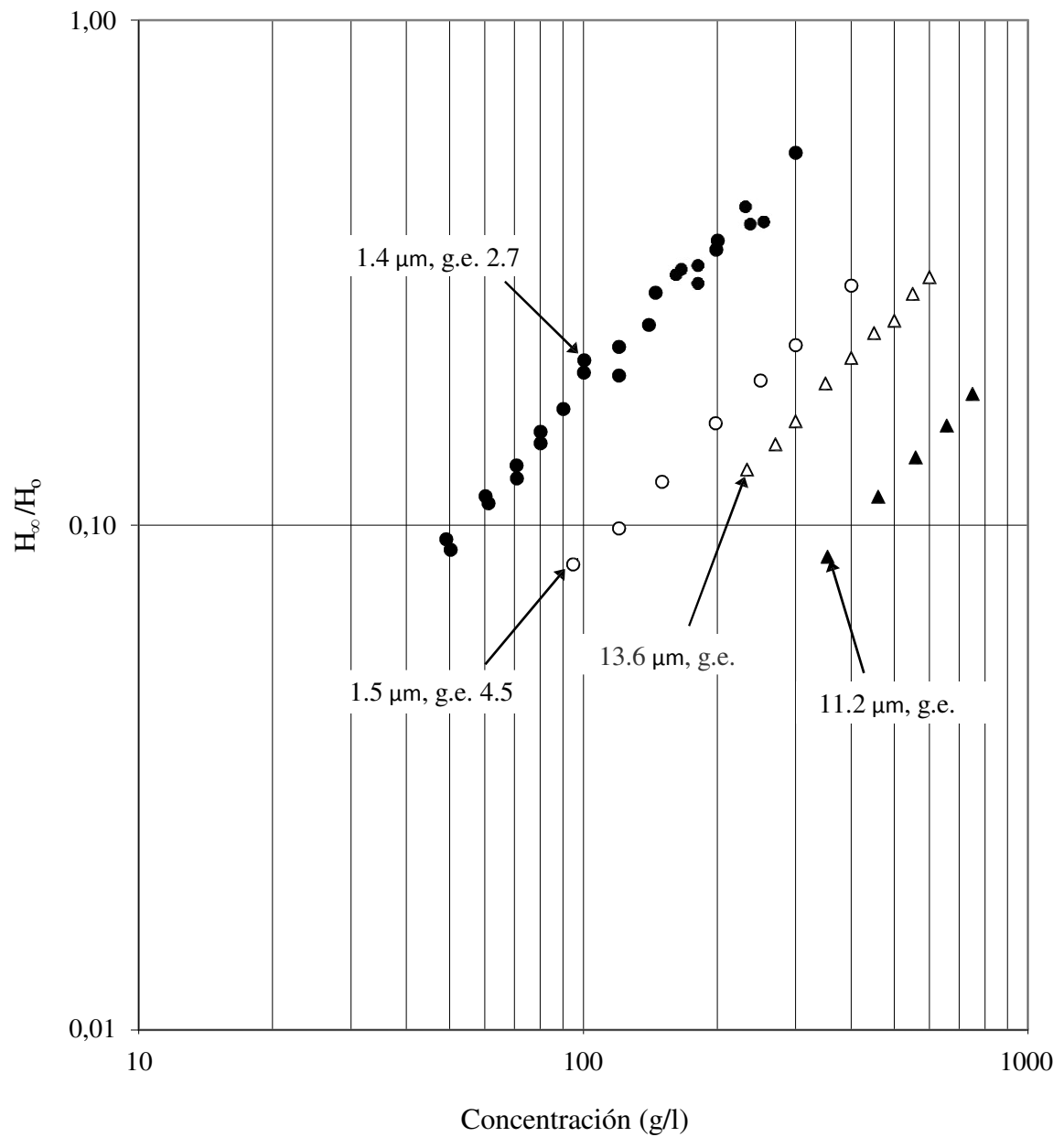
● Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1,5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5

○ Baritina Blanca Micronizada (Agregados Calcareos), 3,6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.4

▲ Baritina PM Grado API (Agregados Calcareos), 13.6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1

.

Figura 7. Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa en suspensiones acuosas.



**Figura 8.** Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa de suspensiones acuosas de óxido de plomo.



95% de probabilidades. Concluyendo que el modelo de regresión lineal es adecuado para suspensiones en los rangos de concentración estudiados.

Los datos obtenidos de la altura final de la suspensión acuosa de carbonato de calcio micronizado FM-1000 para una concentración de 70 g/l son de 6.1 cm y 6.4 cm, con una altura inicial de 46.5 cm y 51.7 cm respectivamente; en la cual, la concentración relativa para las diferentes alturas iniciales fueron de 0.13 y 0.12 respectivamente. Indica que la altura inicial es directamente proporcional con la altura final; es decir, a mayor altura inicial, mayor es la altura final del sedimento. Pero también se observa que no presenta correlación entre la altura inicial y la concentración relativa de la suspensión.

En la figura 6 muestra suspensiones de carbonato de calcio y sulfato de bario, en donde a una concentración aproximadamente de 160 g/l el Sulfato de Bario químicamente puro Riedel de Haen AG de 1.3  $\mu\text{m}$  y la Baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$  presentan una concentración relativa de 0.26 y 0.12 respectivamente. Se concluye, que la concentración relativa depende del tipo de material.

De la figuras 7 se observa que la Baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$ , Baritina blanca micronizada de 3.6  $\mu\text{m}$  y la Baritina PM Grado API de 13.6  $\mu\text{m}$ , presentan concentraciones relativas a 300 g/l de 0.23, 0.18 y 0.16 respectivamente; Esto indica que la concentración relativa es inversamente proporcional al tamaño de la partícula; es decir, a mayor tamaño de la partícula, menor es la concentración relativa.

Mientras que en la figura 8 muestra para una concentración de 350 g/l las concentraciones relativas son de 0.35 y 0.16 para el Carbonato de calcio Micronizado FM-1000 de 1.4  $\mu\text{m}$  y la Baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$  para gravedades específicas de 2.7 y 4.5 respectivamente. Se concluye que la velocidad de sedimentación es directamente proporcional a la gravedad específica del sólido; es decir, a mayor velocidad de sedimentación, mayor es la gravedad específica del sólido.

## 2.2. Segunda representación de los datos

Una manera útil de interpretar los datos de la zona de compresión; consiste en construir una nueva curva (figuras 19 – 21, del apéndice 3), en la cual, se plotea la concentración relativa en las fracciones volumétricas,  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ , versus la concentración inicial de la suspensión. Los resultados de los valores de la concentración relativa en las fracciones volumétricas, determinados de las suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo estudiados son dados en la columna 6 de las tablas del 4 – 14.

Se observa que todos los ploteos originan líneas paralelas al eje de coordenada de la concentración inicial de la suspensión, donde la siguiente ecuación constante puede ser utilizada para la representación de los datos:

$$\frac{X_S \times X_L}{\left(\frac{H_\infty}{H_0}\right)} = \beta \quad \dots (18)$$

donde  $\beta$ , es una constante adimensional, la cual, depende del tipo de material y tamaño de partícula del sólido, para los rangos de concentraciones estudiadas en este trabajo. Los valores de las constantes en la ecuación (18) son mostrados en las tablas del 32 – 34 (apéndice 3). La desviación estándar entre los datos experimentales y los valores calculados de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  son dados en la columna 6 de las tablas del 32 – 34. La columna 5 de las tablas del 32 – 34 muestran los intervalos de confianza, o las probabilidades de encontrar el verdadero valor de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ , donde  $\pm \Delta Y$  es el intervalo de confianza del 95% del nivel de significancia; en este valor se ubica el valor verdadero de la constante  $\beta$  estimado. El cual está basado en la función estadística aleatoria de Student, cuya forma es:

$$Y \pm t_{(1-\alpha)}(s/\sqrt{n}) \quad \dots (19)$$

donde  $s$  es la desviación estándar correspondiente a la dispersión muestral,  $t$  es la magnitud de la función de Student,  $(n-1)$  es el grado de libertad y  $\alpha$  es el nivel de significancia; en el trabajo el valor de  $\alpha$  es de 95%.

Las figuras del 22 – 24 (del apéndice 3), muestran los resultados del análisis residual del diagrama de dispersión de las figuras 19 – 21 (apéndice 3) de las suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo. Se observa una distribución de errores aleatorios, lo cual indica que los parámetros de la ecuación (18) son consistentes.

Tabla N° 22

Resultados de la concentración relativa, en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio de este trabajo

| Carbonato de calcio             | Gravedad Específica | Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ | $\pm\Delta Y$ (95%) |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------|
| Químicamente puro, Mallinckrodt | 2,7                 | 24.8                                  | 0.180                                   | 0.009               |
| Micronizado FM-1000             | 2,7                 | 1.4                                   | 0.193                                   | 0.005               |
| Precipitado El Nevado           | 2,6                 | 2.2                                   | 0.240                                   | 0.006               |
| Precipitado Diamante Rojo       | 2,6                 | 6.9                                   | 0.310                                   | 0.009               |
| Carbonato TE 100                | 2,6                 | 18.2                                  | 0.375                                   | 0.010               |

Tabla N° 23

Resultados de la concentración relativa, en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario de este trabajo.

| Sulfato de bario                     | Gravedad Específica | Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ | $\pm\Delta Y$ (95%) |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------|
| Químicamente Puro, Riedel de Haen AG | 4,1                 | 1.3                                   | 0.146                                   | 0.001               |
| Baritina blanca micronizada especial | 4,5                 | 1.5                                   | 0.266                                   | 0.008               |
| Baritina blanca micronizada          | 4,5                 | 3.6                                   | 0.330                                   | 0.015               |
| Baritina PM Grado API                | 4,1                 | 13.6                                  | 0.416                                   | 0.006               |
| Baritina comercial                   | 4,2                 | 22.0                                  | 0.393                                   | 0.010               |

Tabla N° 24

Resultados de la concentración relativa, en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo de este trabajo.

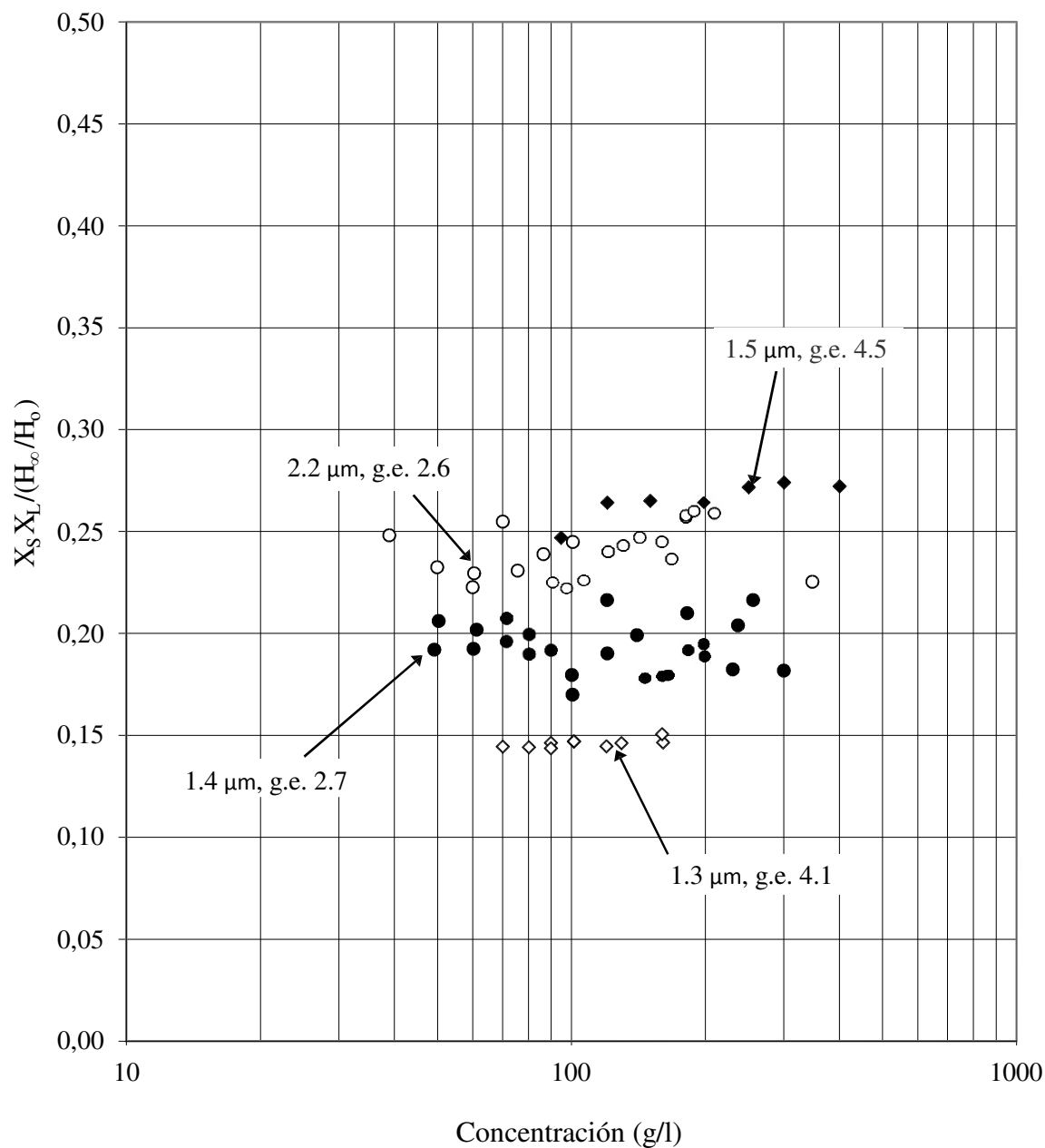
| Óxido de plomo | Gravedad Específica | Tamaño de partícula (μm) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$ | $\pm \Delta Y$ (95%) |
|----------------|---------------------|--------------------------|---|----------------------|
| Minio          | 9,1                 | 2.2                      | 0.209                                     | 0.002                |
| Litargirio     | 9,5                 | 11.2                     | 0.407                                     | 0.006                |

En la figura 9 muestra suspensiones de carbonato de calcio y sulfato de bario, en donde a una concentración aproximadamente de 160 g/l el Sulfato de Bario químicamente puro Riedel de Haen AG de 1.3 μm y la Baritina blanca micronizada especial de 1.5 μm presentan de las  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  0.15 y 0.26 respectivamente. Se concluye, que la  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  depende del tipo de material.

De la figuras 10 se observa que la Baritina blanca micronizada especial de 1.5 μm, Baritina blanca micronizada de 3.6 μm y la Baritina PM Grado API de 13.6 μm, presentan  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  a 270 g/l de 0.27, 0.32 y 0.43 respectivamente; Esto indica que la  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  es directamente proporcional al tamaño de la partícula; es decir, a mayor tamaño de la partícula, menor es la concentración relativa.

Se observa de la figura 11 muestra que los valores de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  para el Carbonato de calcio Precipitado El Nevado de 2.2 μm y el Minio de 2.2 μm para gravedades específicas de 2.6 y 9.1 respectivamente. Mientras que para la baritina PM Grado API de 13.6 μm y Litargirio de 2.2 μm, los valores de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$  son 0.42 y 0.41, con gravedades específicas de 4.1 y 9.5 respectivamente. Esto indica que no hay ninguna correlación entre la gravedad específica del sólido y los valores de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_{\infty}/H_0)}$ .

( / )



Carbonato de Calcio:

● Micronizado FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4 µm, g.e. 2.7

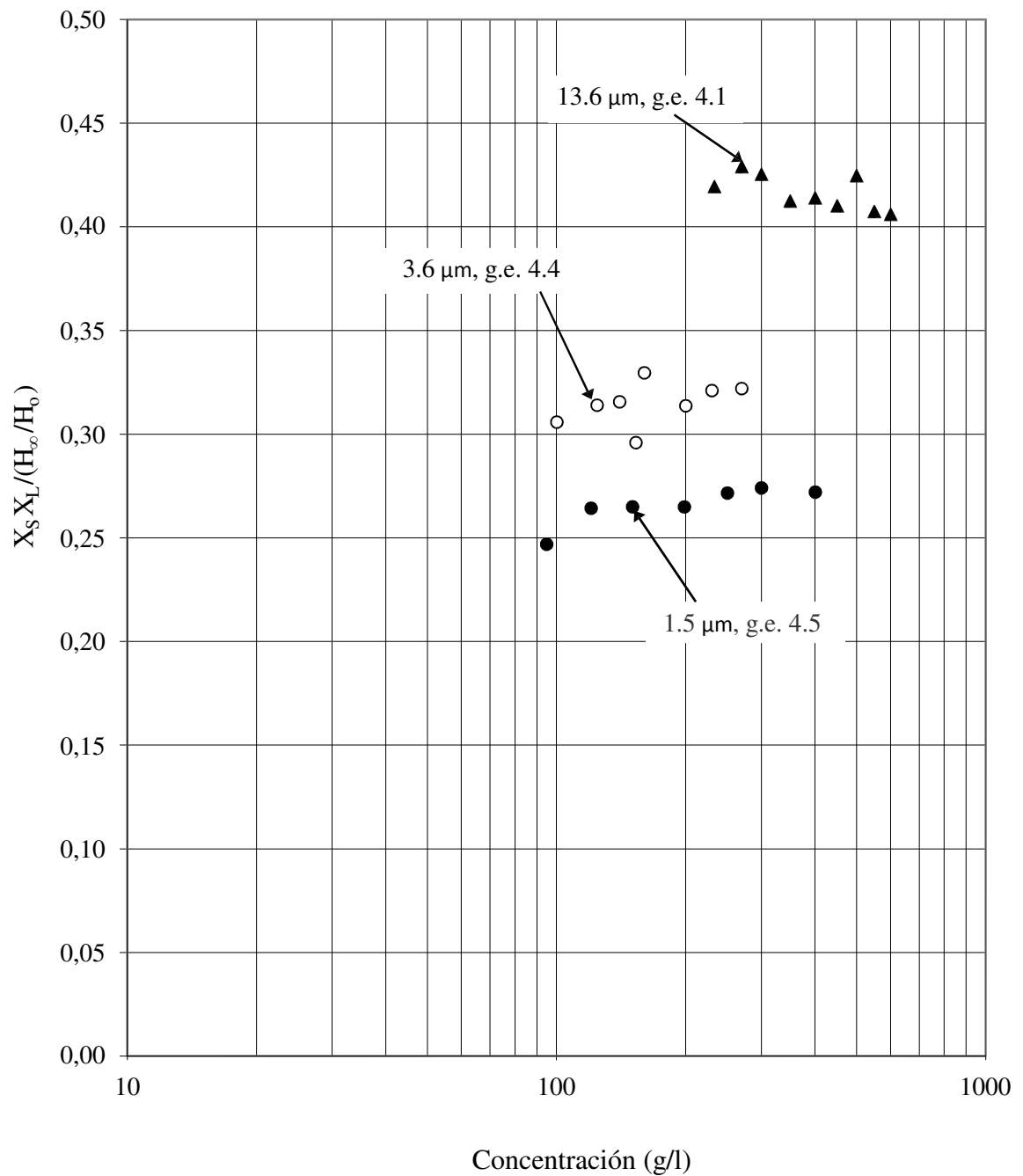
○ Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2.2 µm, g.e. 2.6

Sulfato de Bario:

◇ Químicamente puro, Riedel de Haen AG, 1.3 µm, g.e. 4.1

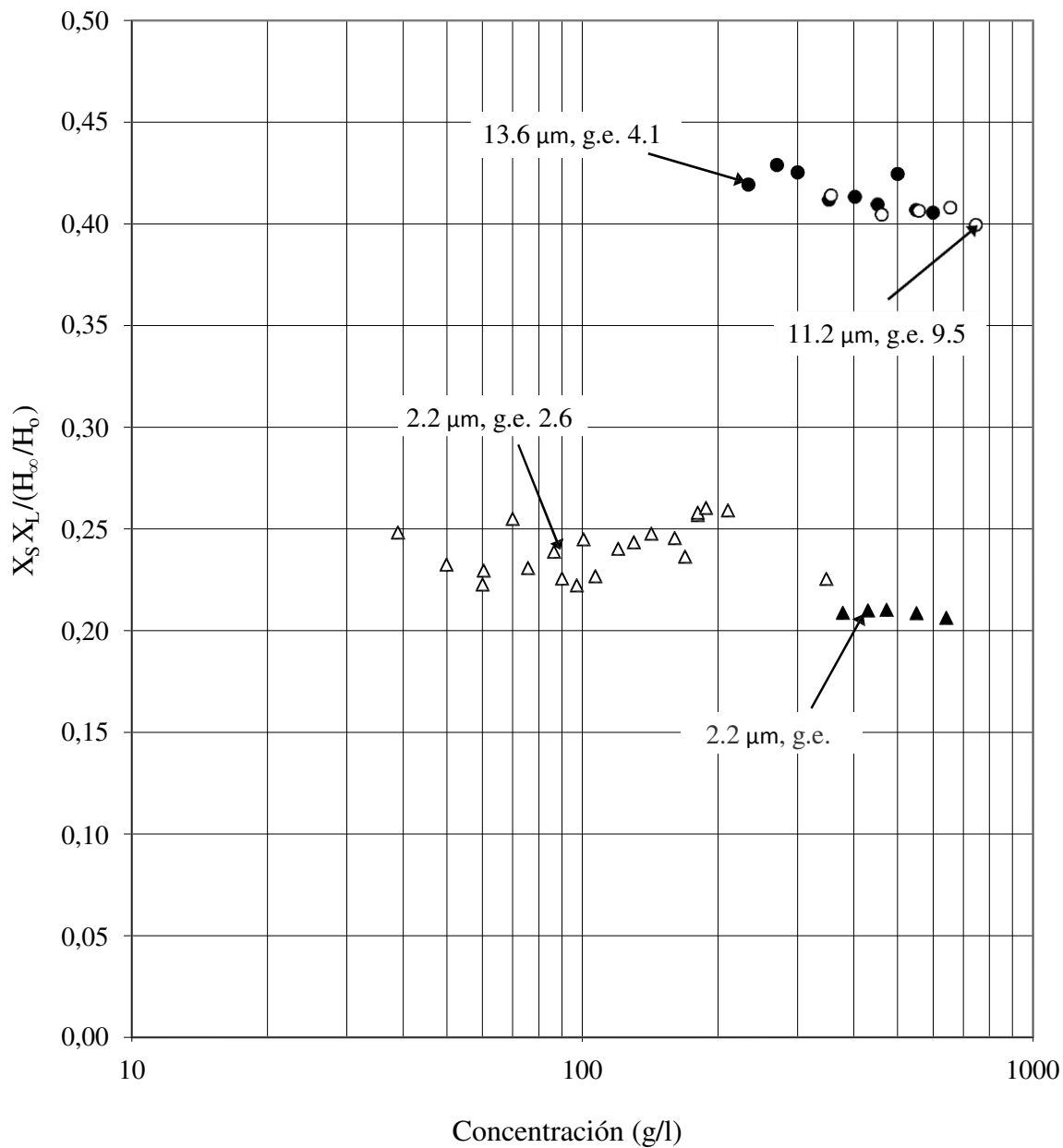
◆ Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5 µm, g.e. 4.5

**Figura 9.** Efecto del Tipo de sólido en la concentración relativa, en las fracciones volumétricas en suspensiones acuosas.



- Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5
- Baritina Blanca Micronizada (Agregados Calcareos), 3,6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.4
- ▲ Baritina PM Grado API (Agregados Calcareos), 13.6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1

**Figura 10.** Efecto del tamaño de la partícula en la concentración relativa, en las fracciones volumétricas en suspensiones acuosas.



Carbonato de Calcio:

$\Delta$  Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2,2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

Sulfato de Bario:

$\bullet$  Baritina PM Grado API (Agregados Calcareos), 13.6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1

Óxido de Plomo:

$\blacktriangle$  Minio 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 9.1

$\circ$  Litargirio 11.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 9.5

**Figura 11.** Efecto de la gravedad específica de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas.



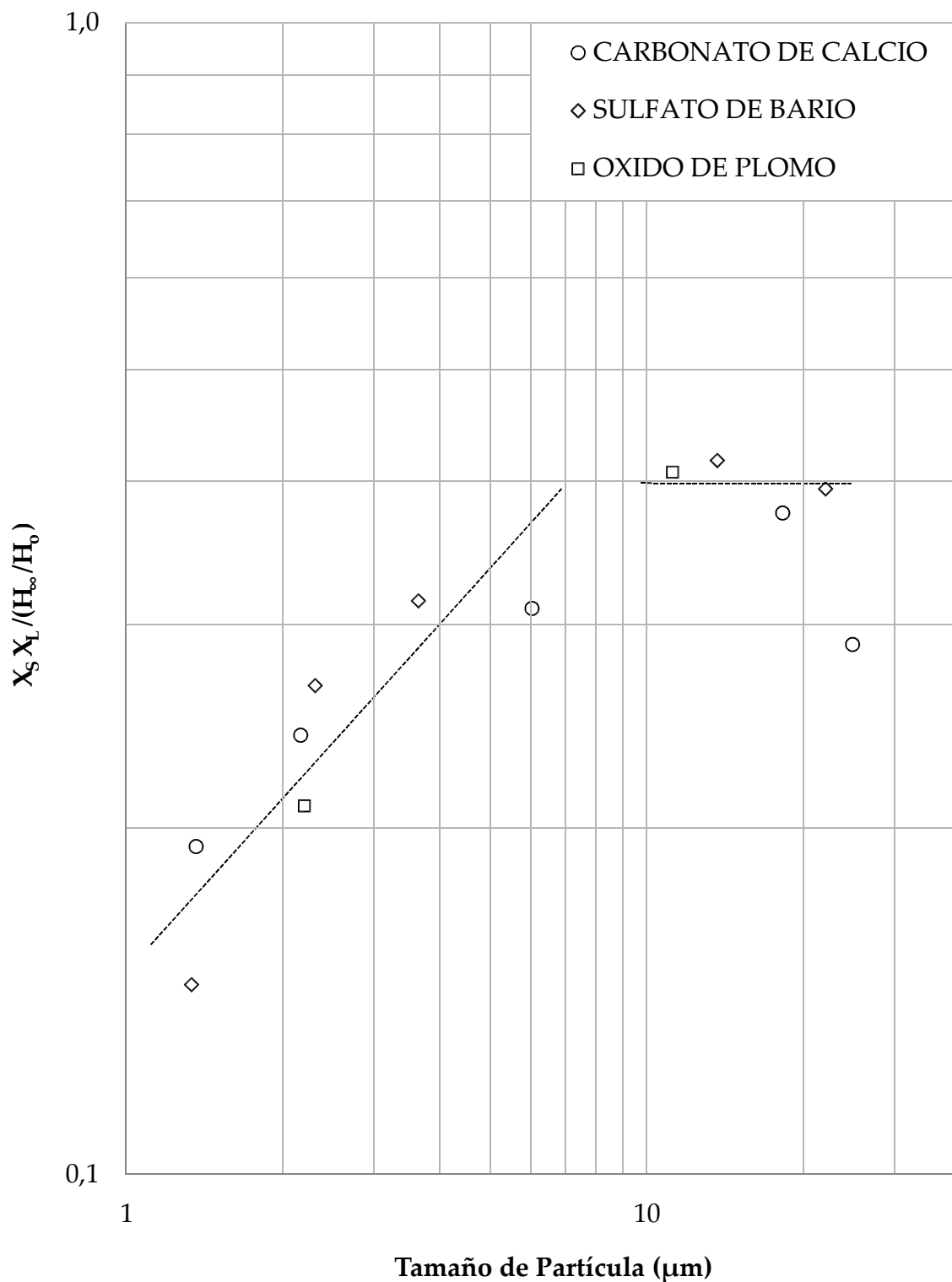
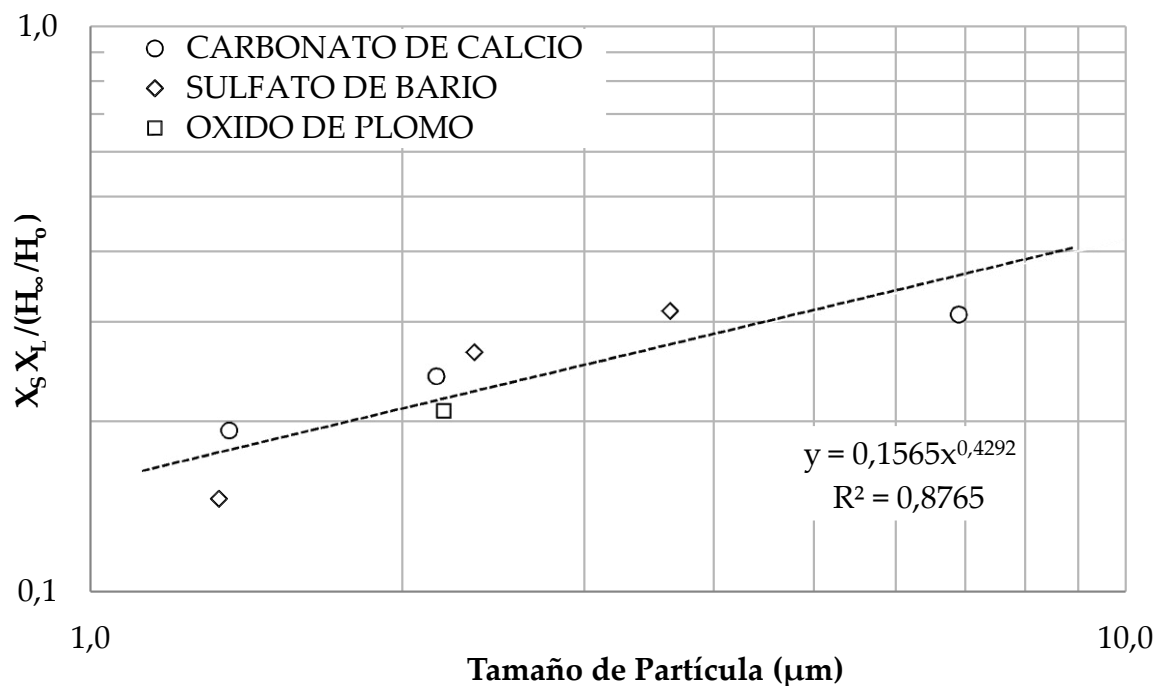
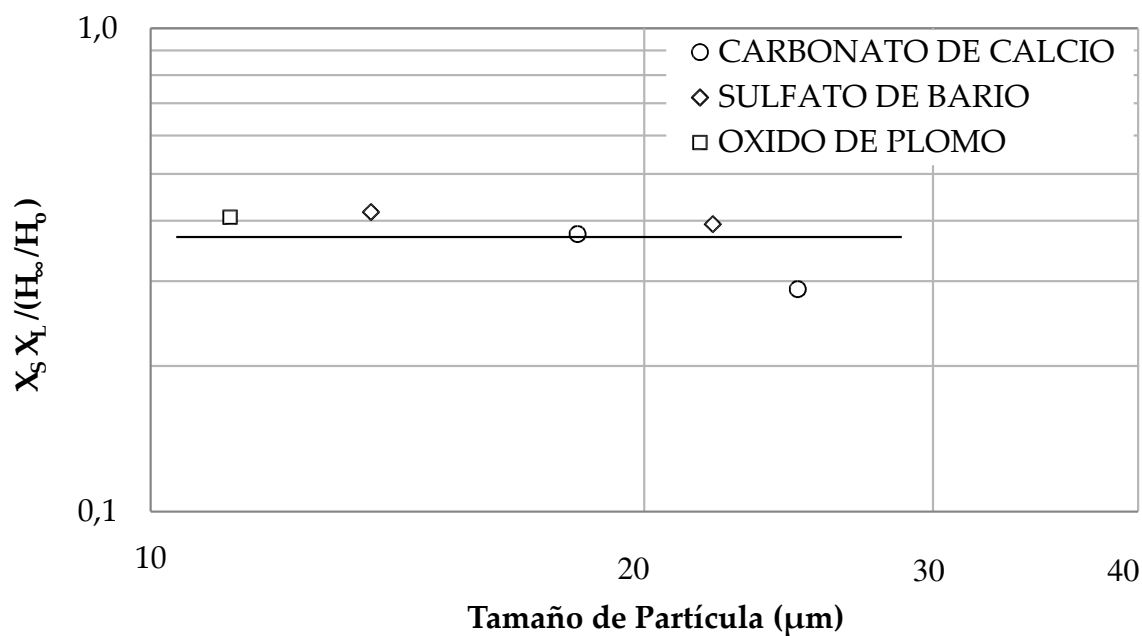


Figura 12(A). Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus el tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.



**Figura 12(B).** Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus su tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en un rango de tamaño de partícula entre 1 a 10 µm.



**Figura 12(C).** Concentración relativa, en las fracciones volumétricas versus su tamaño de la partícula de los diferentes sólidos de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo en un rango de tamaño de partícula entre 10 a 30 µm.

La Figura N° 12 (A) muestra una correlación de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  en función del tamaño de la partícula, donde se puede observar dos zonas. Una primera zona mostrada en la Figura N° 12(B) constituida por partículas en un rango de 1 - 8  $\mu\text{m}$  (partículas finas) de diferentes densidades, donde se observa una recta con pendiente positiva, la cual se correlaciona directamente a  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  con el tamaño de la partícula. Para corroborar dicha correlación se realizó una *hipótesis nula*, en este caso la *hipótesis nula* es que no existe correlación entre el tamaño de la partícula y la expresión  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ ; el resultado obtenido (la Tabla N°42 del Apéndice 4) muestra que la *hipótesis nula* se rechaza, concluyendo que existe una correlación significativa entre los parámetros (tamaño de la partícula y  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ ) con un 95% de probabilidad.

Mientras que en la segunda zona, Figura 12(C), constituida por partículas mayores a 10  $\mu\text{m}$  (partículas gruesas) de diferentes densidades, se observa una línea recta constante con similares valores de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  a diferentes tamaños de partículas; la Figura 25 (del apéndice 3), muestra el resultado del análisis residual del diagrama de dispersión de la figura 12(C), la cual se observa una distribución de errores aleatorios, indicando que la interpretación de los datos de la Figura 12(C) como una línea recta constante es consistente.

Los datos obtenidos por Ward, H. T. and Kammermeyer <sup>(12)</sup> para este trabajo se deberían de clasificar como no muy confiables, dado que con respecto al tamaño de la partícula de dichos datos, no especifican el método usado para hallar dichos tamaños de partículas del carbonato de calcio y sulfato de bario mencionados en la revista. En la tabla N° 33 se observa que los sulfato de bario Ward, H. T. and Kammermeyer de 18  $\mu\text{m}$ , químicamente puro de 1.3  $\mu\text{m}$ , baritina blanca micronizada especial de 1.5  $\mu\text{m}$  y baritina

PM grado API de 13.6  $\mu\text{m}$  muestran valores de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  iguales a 0.16, 0.15, 0.27 y 0.42 respectivamente. Se puede concluir por los datos obtenidos que el valor del tamaño de la partícula para el sulfato de bario de la referencia de Ward, H. T. and Kammermeyer estaría en un rango de 2  $\mu\text{m}$  y no de 18  $\mu\text{m}$ . Similar caso es para los datos del carbonato de calcio de la misma referencia de Ward, H. T. and Kammermeyer.

## **XII. CONCLUSIONES**

### **A. Velocidad de sedimentación o zona de concentración uniforme.**

1. Los datos obtenidos de la velocidad de sedimentación se observa un comportamiento similar con la teoría de Kynch <sup>12</sup>, donde la velocidad de sedimentación es una función inversamente proporcional a la concentración de inicial de la suspensión; la cual puede ser representada por líneas rectas en un papel log-log con pendientes negativas paralelas entre sí.
2. La velocidad de sedimentación también depende directamente del tamaño de la partícula y de la gravedad específica del sólido.
3. La altura inicial de la suspensión no tiene efecto en la velocidad de sedimentación.

### **B. Zona de compresión o compactación.**

1. Los datos de concentración relativa muestra un comportamiento acorde a lo expuesto por Ward and Kammermeyer <sup>28</sup>; donde la concentración relativa es directamente proporcional con la concentración inicial de la suspensión; es decir, a mayor concentración relativa mayor es la concentración inicial de la suspensión. Los datos se representaron por líneas rectas en papel log-log y con pendientes positivas.
2. Se concluye que los datos obtenidos de la altura final del sedimento depende de su altura inicial de la suspensión, pero la concentración relativa no depende de la altura inicial de la suspensión.
3. La concentración relativa es inversamente proporcional al tamaño de partícula y la gravedad específica del sólido.
4. Los resultados de la zona de compresión o compactación se pueden representar por el ploteo de concentración relativa en la fracción volumétrica,  $\frac{X_S \times X_L}{H_\infty \cdot H_0}$  ( / )

en función

de la concentración inicial de la suspensión, y son representados por líneas rectas paralelas al eje de concentración inicial. Se encontró que los datos de  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  para las suspensiones de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo pueden ser expresadas por una ecuación constante en los rangos de concentración inicial estudiados.

5. El valor  $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$  es una constante para un determinado tipo de sólido en una suspensión acuosa; el cual es directamente proporcional con el tamaño de partícula, en los rangos de concentración inicial estudiados.

### XIII. BIBLIOGRAFIA

1. Badger, W., L., y Banchemo J., T. (1964). Introducción a la Ingeniería Química. México: Ed. McGraw-Hill, Pág. 655-680.
2. Brady (1962). Vertical and Inclined Sedimentation of Slurries. Tesis de Título Profesional en Ing. Química, Ottawa-Canada.
3. Brown, G. (1986). Operaciones Unitarias (2da ed.). España: Ed. Limusa, Pág. 116-127.
4. Bustos, M., C., and Concha, F. (1988). Simulation of batch sedimentation with compression. AIChE Journal, 34, 859-861.
5. Coe, H., S., and Clevenger, G., H., (1916). Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs., 55, 356.
6. Comings, E., W. (1940). Thickening calcium carbonate slurries. Ind. Eng. Chem., 32, 663.
7. Comings, E., W. (1954). Continuous settling and thickening. Ind. Eng. Chem., 46, 1164.
8. Condorhuamán, C. (1998). Estudio Experimental de las Sedimentaciones Discontinuas de Suspensiones acuosas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú,
9. Egolf, C., B., and McCabe, W., L. (1937). Rate of sedimentation of flocculated particles. Trans. Am. Inst. Chem. Engrs., 33, 620 – 642.
10. Fitch, B. (1962). Sedimentation process fundamentals. Trans. Amer. Inst. Mining Eng., 223, 129-137,
11. Fitch, B. (1979). Sedimentation of flocculent suspensions: State of the art. AIChE Journal, 25 (6), 913-930.
12. Fitch, B. (1983). Kynch theory and compression zones. AIChE Journal, 29 (6), 940-946.
13. Foust, A., S. (1996). Operaciones unitarias (2da ed.). México: Ed.Continental, Pág. 628-638.
14. Font, R. (1988). Compression zone effect in batch sedimentation. AIChE Journal, 34 (2), 229 – 238.
15. Gasos, P., Josa, J., M., y Jodra, L. G. (1957). Métodos de cálculos de espesadores por ensayos discontinuos. Rev. Química e Industria., 4, 199.



16. Graham, W., and Lama, R. (1963). Sedimentation in inclined vessels. Can. J. Chem. Eng., 41, 31.
17. Huamán, N. (1973). Efecto de pared. Tesis para optar el grado de Bachiller en Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.
18. Holman, J. P. (1977). Métodos Experimentales para Ingenieros. México: Ed. McGraw-Hill, Pág. 53-91.
19. Lama, R. (1965). Sedimentación de Suspensiones de Carbonato de Calcio en sedimentadores inclinados. Tesis de Título Profesional en Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.
20. Lama, R., y Condorhuamán, C. (1998). Sedimentación discontinua en sedimentadores verticales. Rev. Per. Quim. Ing. Quim., 1, 66.
21. Millar, J., C., y Millar, J., N. (1988). Estadística para química Analítica (2da Edición).
22. Prorrder, T. (1991). Particle Size Distribution II: Assessment and Characterization. Pág. 295-358.
23. Scott, K., J. (1968). Thickening of calcium carbonate slurries. I&EC Fundamentals, 7 (3), 484-490.
24. Talmage, W., P., and Fitch, E., B. (1955). Determining Thickener Unit Areas. Ind. Eng. Chem., 47, 38.
25. Vesilind, A., and Zhang, G. (1984). Technique for estimating sludge compactability in centrifugal dewatering. Journal WPCF, 56 (12), 1231-1237.
26. Wakeman, R., and Tarleton, S. (2005). Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration (First edition). Great Britain: Elsevier Advanced Technology, Pág. 72-95.
27. Wakeman, R., and Tarleton, S. (2005). Solid/Liquid Separation: Scale-up of Industrial Equipment (First edition). Great Britain: Elsevier Advanced Technology, Pág. 75-76.
28. Ward, H., T., and Kammermeyer, K. (1940). Sedimentation in the Laboratory, Ind. Eng. Chem., 32, 622.
29. Webb, P., A. (2004). The Perseverance of the Sedigraph Method of Particle Sizing. Micromeritics.

## **XV. APENDICES**

### Apéndice 1

Resultados de la velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

Tabla N° 26

Resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.

| Muestras de carbonato de calcio | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | b    | K     | Desviación Estándar, s | Coefficiente Determinación, $R^2$ | F      | F <sub>C</sub> |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|-------|------------------------|-----------------------------------|--------|----------------|
| E. W. Commings, 1940            | 2,7                 | -                                     | 1,99 | 1050  | 0,021                  | 99,63                             | 1348,1 | 6,6            |
| R. Lama, 1963                   | 2,7                 | -                                     | 1,59 | 121   | 0,024                  | 99,59                             | 2439,9 | 5,0            |
| Brady, 1963                     | 2,7                 | -                                     | 1,90 | 482   | 0,053                  | 99,05                             | 728,6  | 5,6            |
| <u>Este Trabajo:</u>            |                     |                                       |      |       |                        |                                   |        |                |
| Químicamente puro, Mallinckrodt | 2,7                 | 24.8                                  | 1,77 | 16343 | 0,009                  | 99,53                             | 209,9  | 161,4          |
| Micronizado FM-1000             | 2,7                 | 1.4                                   | 1,94 | 1630  | 0,068                  | 99,03                             | 2044,3 | 4,4            |
| Precipitado, El Nevado          | 2,6                 | 2.2                                   | 2,14 | 8247  | 0,057                  | 99,37                             | 2829,4 | 4,4            |
| Precipitado, Diamante Rojo      | 2,6                 | 6.9                                   | 2,09 | 11589 | 0,094                  | 93,30                             | 97,5   | 5,6            |
| Carbonato TE 100                | 2,6                 | 18.2                                  | 1,81 | 21440 | 0,060                  | 98,09                             | 256,2  | 6,6            |

Tabla N° 27

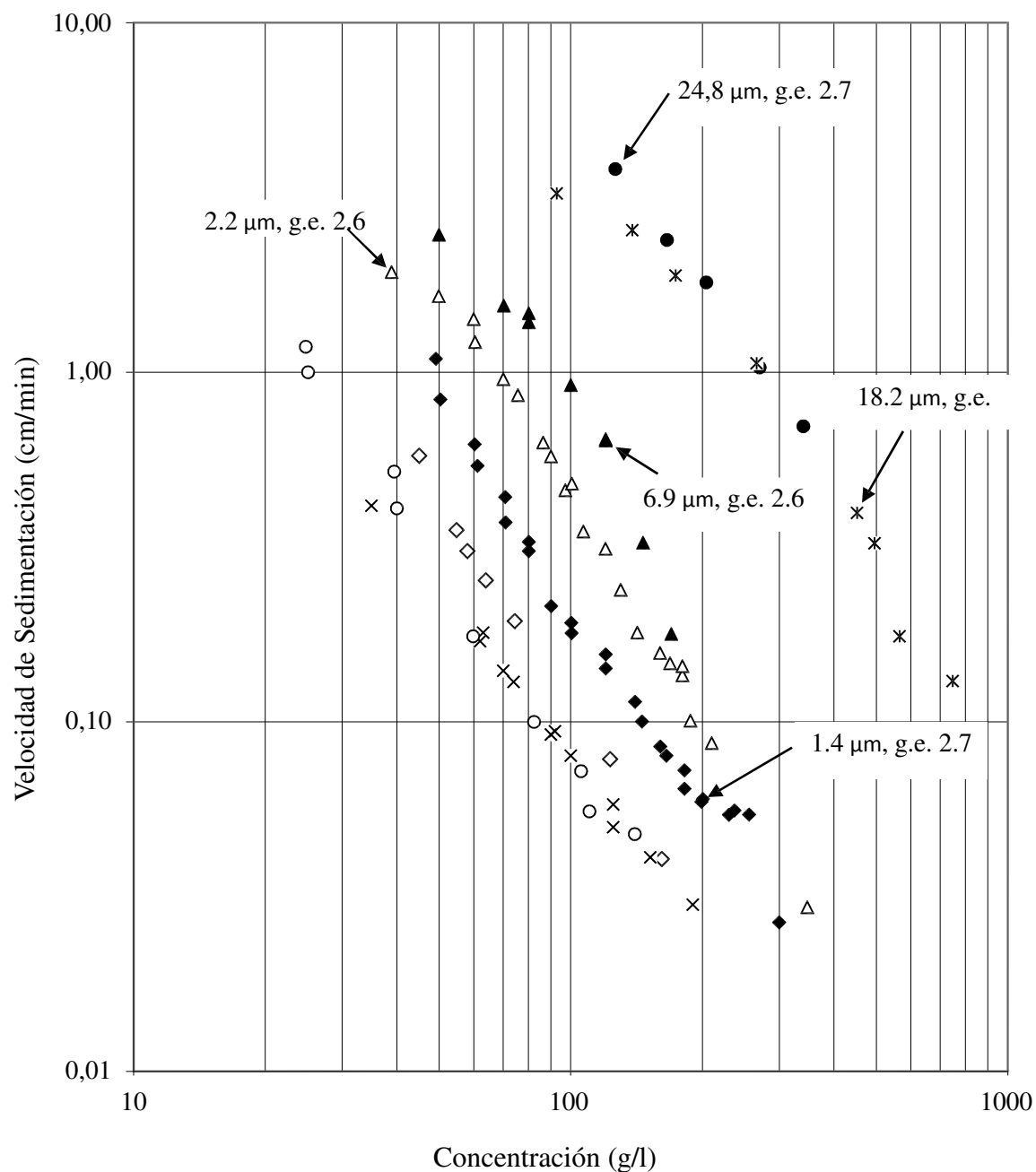
Resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de sulfato de bario.

| Muestras de sulfato de bario         | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | b    | K      | Desviación Estándar, s | Coefficiente de Determinación, $R^2$ | F     | F <sub>C</sub> |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|--------|------------------------|--------------------------------------|-------|----------------|
| Químicamente puro, Riedel de Haen AG | 4,1                 | 1.3                                   | 1,70 | 1606   | 0,042                  | 96,38                                | 212,9 | 5,3            |
| Baritina blanca micronizada especial | 4,5                 | 1.5                                   | 1,84 | 15306  | 0,027                  | 99,42                                | 858,8 | 6,6            |
| Baritina blanca micronizada          | 4,5                 | 3.6                                   | 1,93 | 58796  | 0,120                  | 94,18                                | 161,7 | 5,0            |
| Baritina PM Grado API                | 4,1                 | 13.6                                  | 1,84 | 64836  | 0,043                  | 97,41                                | 263,4 | 5,6            |
| Baritina Comercial                   | 4,2                 | 22,0                                  | 1,86 | 177012 | 0,039                  | 93,66                                | 29,6  | 18,5           |

Tabla N° 28

Análisis de resultados de las velocidades de sedimentación de suspensiones acuosas de óxido de plomo.

| Muestras de óxido de plomo | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | b    | K       | Desviación Estándar, s | Coefficiente de Determinación, $R^2$ | F     | F <sub>C</sub> |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|---------|------------------------|--------------------------------------|-------|----------------|
| C. Condorhuaman, 1998      | 9,5                 | -                                     | 1,71 | 135677  | 0,102                  | 87,48                                | 48,9  | 5,6            |
| <u>Este trabajo:</u>       |                     |                                       |      |         |                        |                                      |       |                |
| Minio                      | 9,1                 | 2.2                                   | 2,37 | 3443828 | 0,044                  | 92,23                                | 35,6  | 10,1           |
| Litargirio                 | 9,2                 | 11.2                                  | 2,13 | 3223580 | 0,015                  | 98,44                                | 126,0 | 18,5           |



◇ E. W. Commings, 1940

× R. Lama, 1963

○ Brady, 1963

Este Trabajo:

● Químicamente Puro, Mallinckrodt (Kossodo), 24.8  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

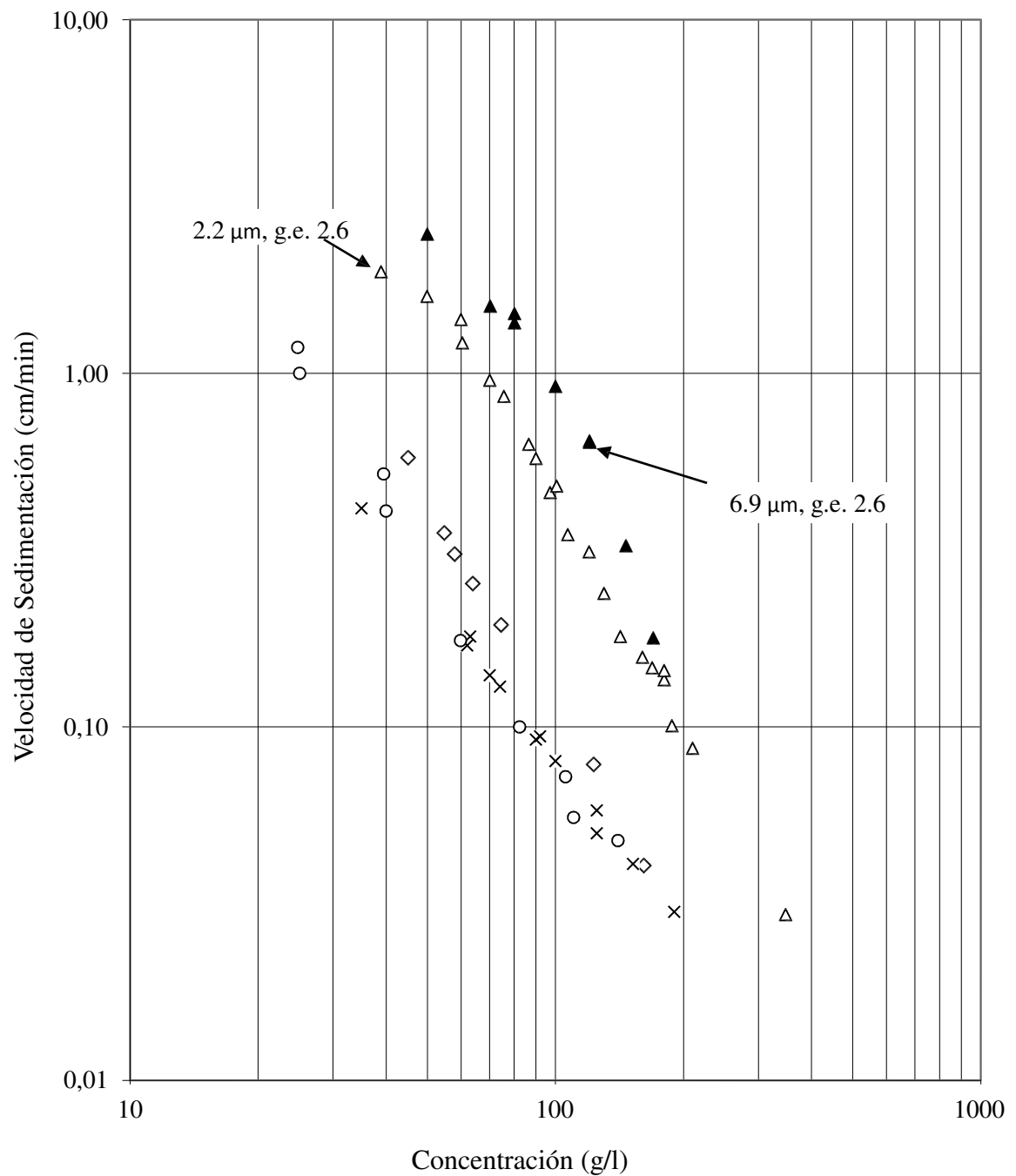
◆ Micronizada FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

△ Precipitado El Nevado (Liquid Química Mexicana), 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

▲ Precipitado Diamante Rojo (Liquid Química Mexicana), 6.9  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

\* Carbonato TE 100 (Agregados Calcareos), 18.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

Figura 13(A). Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.



◇ E. W. Comings, 1940

× R. Lama, 1963

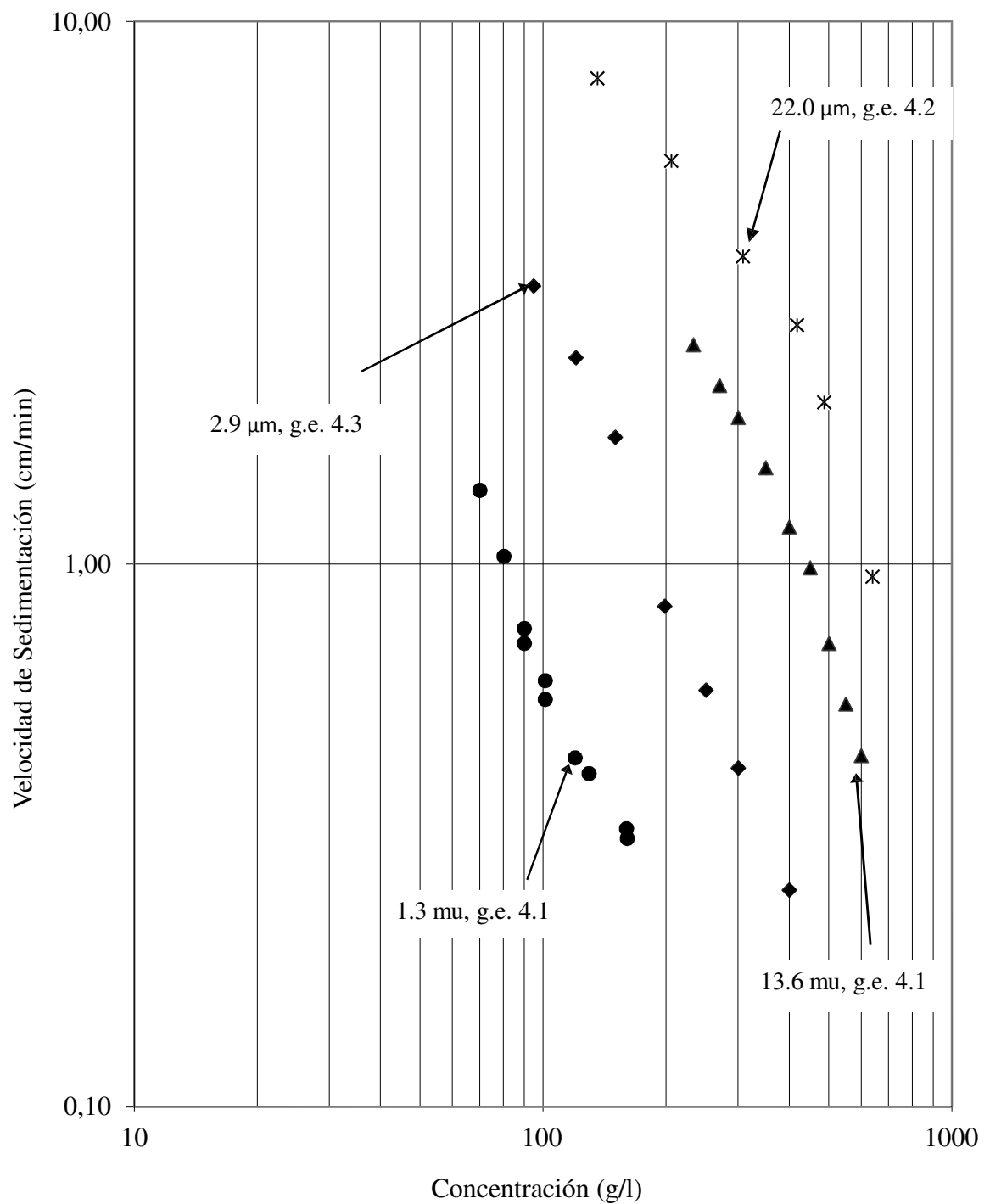
○ Brady, 1963

Este Trabajo:

△ Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2,2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

▲ Precipitado Diamante Rojo (Liquid Quimica Mexicana), 6,9  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

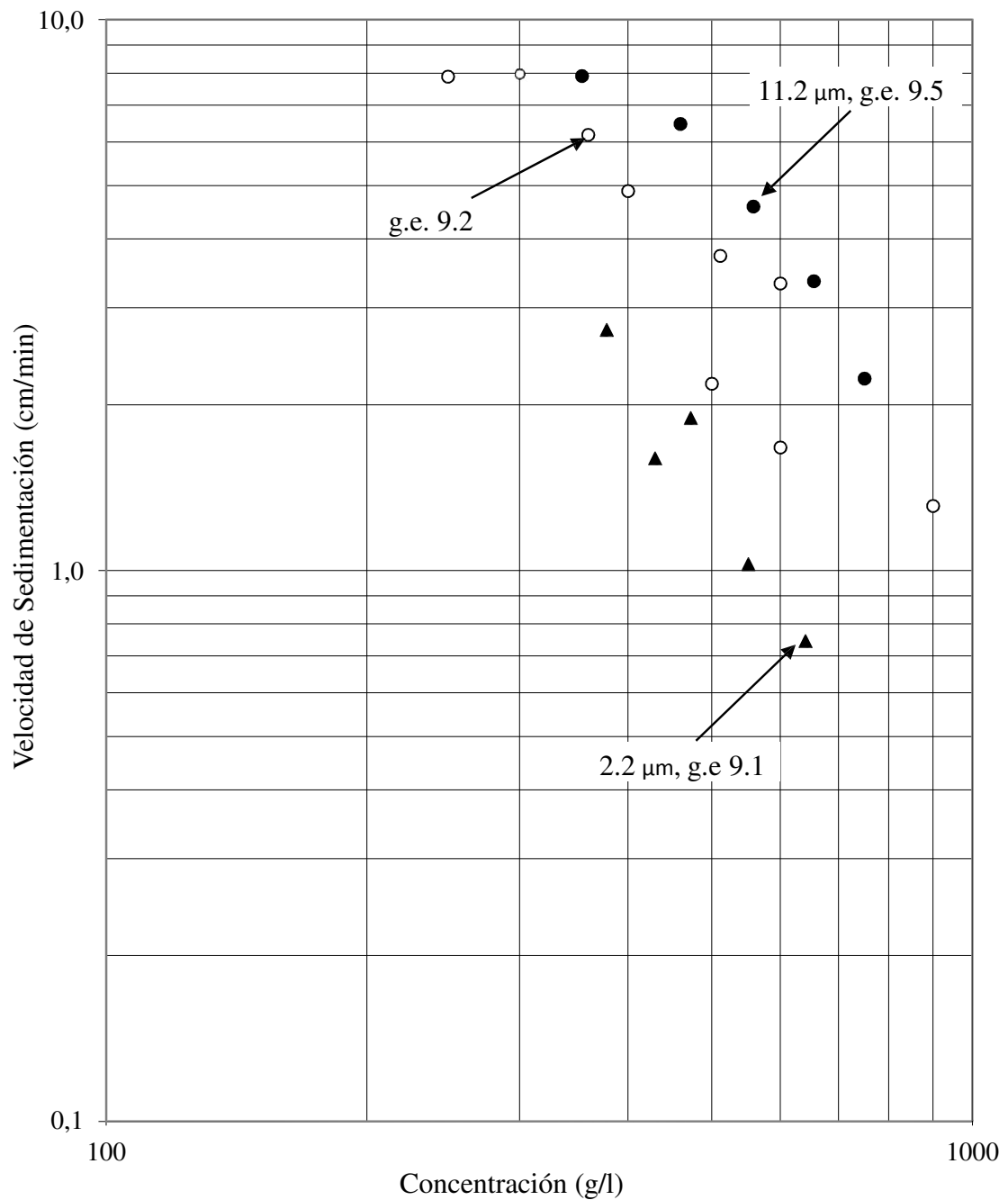
**Figura 13(B).** Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.



- Químicamente Puro, Riedel de Haen AG, 1.3  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1
- ◆ Baritina Blanca Micronizada Especial (Agregados Calcareos), 1.5  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.5
- ▲ Baritina PM Grado API (Agregados Calcareos), 13.6  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.1
- \* Baritina Comercial, 22.0  $\mu\text{m}$ , g.e. 4.2

**Figura 14.** Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de sulfato bario.





○ C. Condorhuaman, 1998

Este Trabajo:

▲ Minio, 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 9.1

● Litargirio, 11.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 9.5

**Figura 15.** Velocidad de sedimentación de suspensiones acuosas de óxido de plomo.

## Apéndice 2

Resultados de la concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

Tabla N° 29

Resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.

| Muestras de carbonato de calcio   | Gravedad Especifica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | N    | $\alpha$ | Desviación Estándar, s | Coefficiente Determinación, $R^2$ | F      | F <sub>C</sub> |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|----------|------------------------|-----------------------------------|--------|----------------|
| R. Lama, 1963                     | 2,7                 | -                                     | 0,89 | 0,0052   | 0,022                  | 99,52                             | 1884,6 | 5,1            |
| Brady, 1963                       | 2,7                 | -                                     | 0,78 | 0,0097   | 0,041                  | 97,03                             | 228,8  | 5,6            |
| Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940 | 2,6                 | 12,6                                  | 0,78 | 0,0100   | 0,016                  | 99,70                             | 1981,0 | 6,0            |
| <u>Este trabajo:</u>              |                     |                                       |      |          |                        |                                   |        |                |
| Químicamente Puro, Mallinckrodt   | 2,7                 | 24.8                                  | 0,93 | 0,0027   | 0,020                  | 99,58                             | 1177,3 | 6,6            |
| Micronizado FM-1000               | 2,7                 | 1.4                                   | 0,96 | 0,0022   | 0,029                  | 98,43                             | 1442,1 | 4,4            |
| Precipitado, El Nevado            | 2,6                 | 2.2                                   | 0,92 | 0,0023   | 0,022                  | 99,02                             | 1922,0 | 4,4            |
| Precipitado, Diamante Rojo        | 2,6                 | 6.9                                   | 0,89 | 0,0020   | 0,010                  | 99,60                             | 1757,4 | 5,6            |
| Carbonato TE 100                  | 2,6                 | 18.2                                  | 0,88 | 0,0017   | 0,016                  | 99,72                             | 2135,5 | 6,0            |

Tabla N° 30

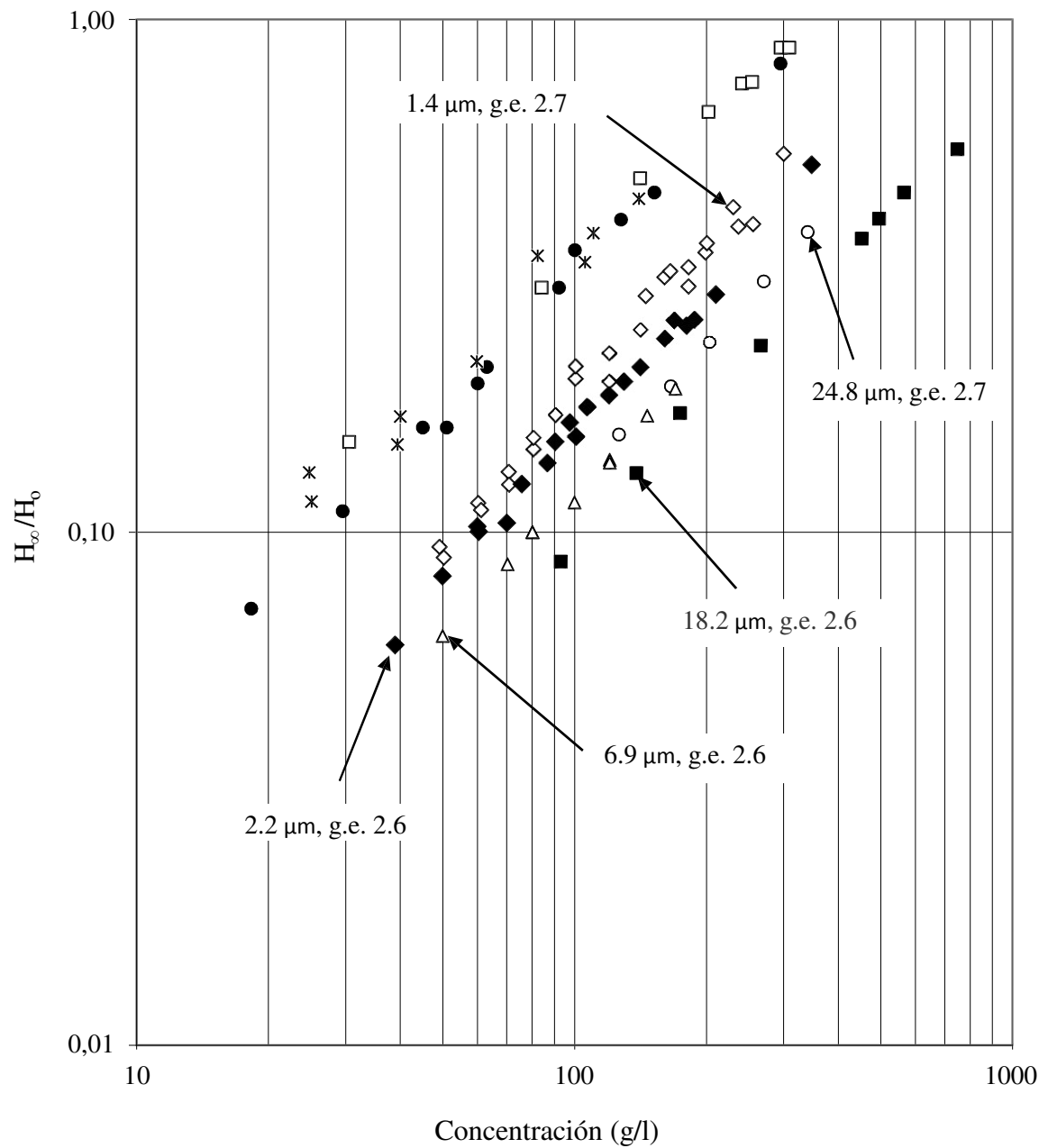
Análisis de resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de sulfato de bario versus su concentración inicial

| Muestras de sulfato de bario         | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | N    | $\alpha$ | Desviación Estándar, s | Coefficiente Determinación, $R^2$ | F      | $F_C$ |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|----------|------------------------|-----------------------------------|--------|-------|
| Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940    | 4,2                 | 18,0                                  | 0,84 | 0,0034   | 0,025                  | 99,54                             | 2168,9 | 5,0   |
| <u>Este trabajo:</u>                 |                     |                                       |      |          |                        |                                   |        |       |
| Químicamente Puro, Riedel de Haen AG | 4,1                 | 1.3                                   | 0,94 | 0,0022   | 0,002                  | 99,84                             | 4950,8 | 5,3   |
| Baritina blanca micronizada especial | 4,5                 | 1.5                                   | 0,89 | 0,0014   | 0,006                  | 99,89                             | 4343,9 | 6,6   |
| Baritina blanca micronizada          | 4,5                 | 3.6                                   | 0,82 | 0,0017   | 0,019                  | 99,11                             | 1118,5 | 5,0   |
| Baritina PM Grado API                | 4,1                 | 13.6                                  | 0,93 | 0,0008   | 0,007                  | 99,75                             | 2843,3 | 5,6   |
| Baritina Comercial                   | 4,2                 | 22,0                                  | 0,96 | 0,0007   | 0,004                  | 99,95                             | 8205,3 | 7,7   |

Tabla N° 31

Análisis de resultados de las concentraciones relativas de suspensiones acuosas de óxido de plomo versus su concentración inicial

| Muestras de óxido de plomo | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | N    | A      | Desviación Estándar, s | Coefficiente Determinación, $R^2$ | F      | $F_C$ |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|--------|------------------------|-----------------------------------|--------|-------|
| C. Condorhuaman, 1998      | 9,2                 | -                                     | 1,01 | 0,0004 | 0,056                  | 91,64                             | 87,7   | 5,3   |
| <u>Este trabajo:</u>       |                     |                                       |      |        |                        |                                   |        |       |
| Minio                      | 9,1                 | 2.2                                   | 0,97 | 0,0006 | 0,001                  | 99,96                             | 6752,5 | 10,1  |
| Litargirio                 | 9,5                 | 11.2                                  | 0,98 | 0,0003 | 0,003                  | 99,91                             | 3496,8 | 10,1  |



● R. Lama, 1963

× Brady, 1963

□ Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940

Este Trabajo:

○ Qimicamente Puro, Mallinckrodt (Kossodo), 24,8  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

◇ Micronizado FM-1000 (Agregados Calcareos), 1,4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

◆ Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2,2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

△ Precipitado Diamante Rojo (Liquid Quimica Mexicana), 6,9  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

■ Carbonato TE 100 (Agregados Calcareos), 18,2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

Figura 16(A). Concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio.

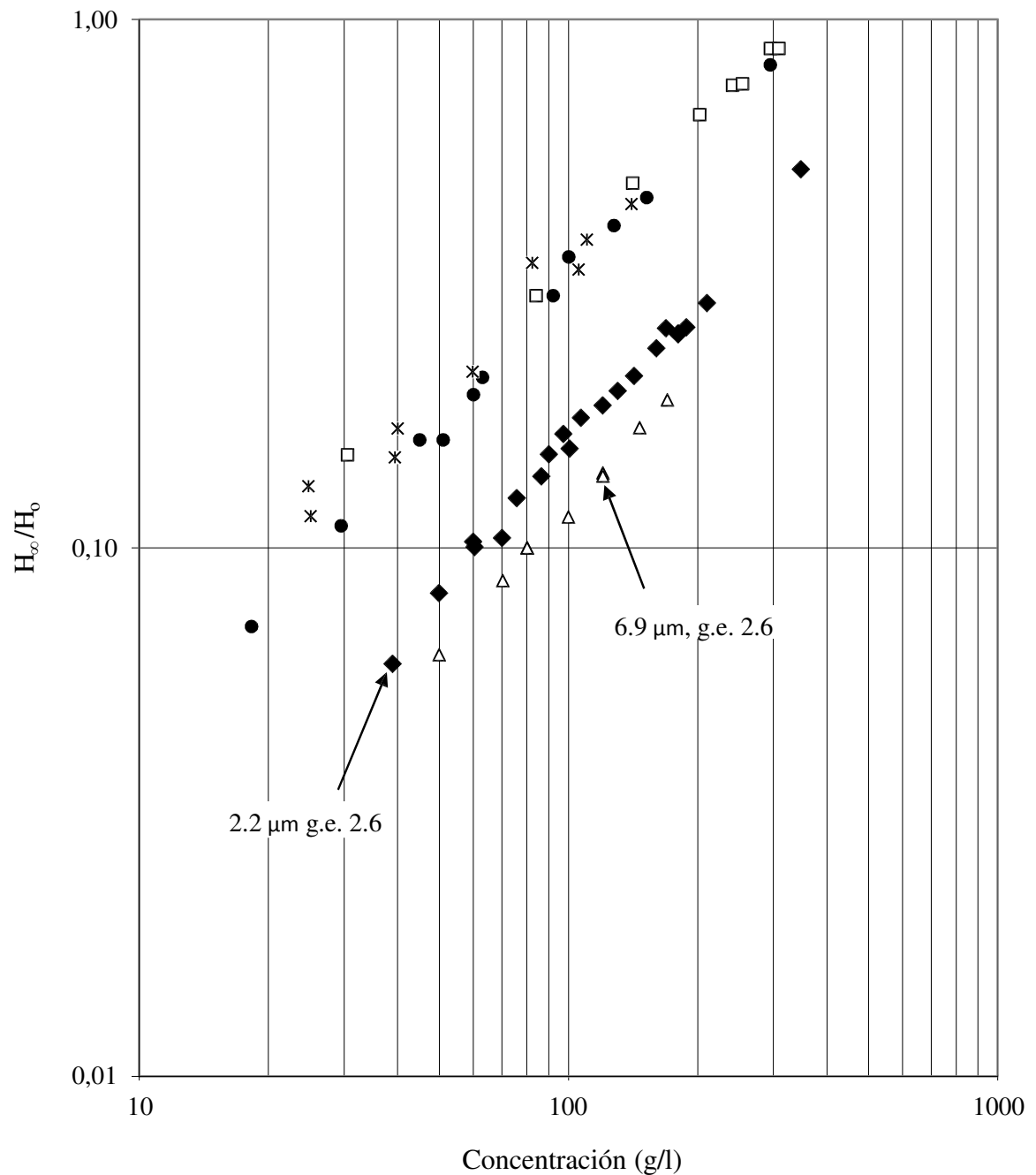
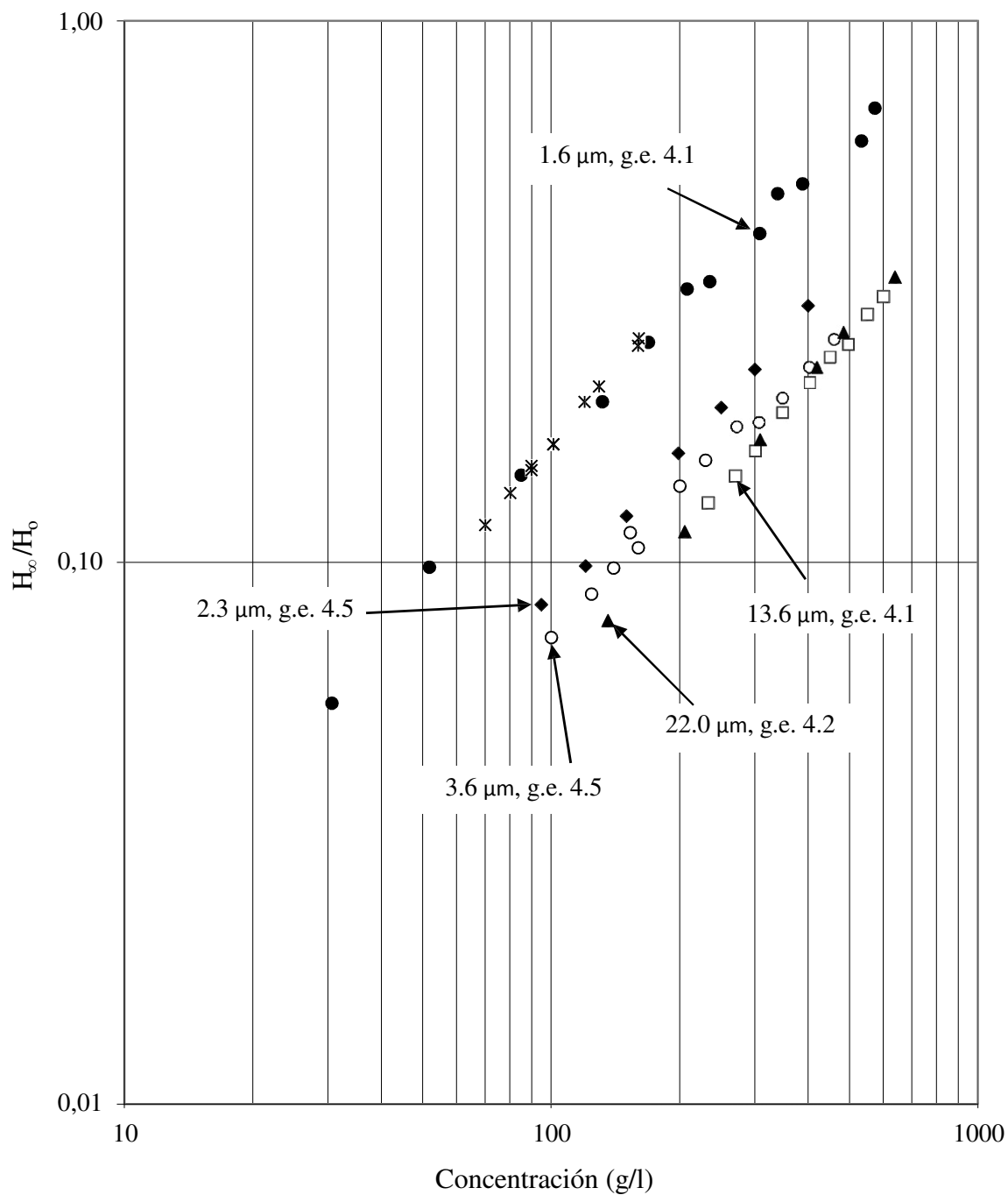
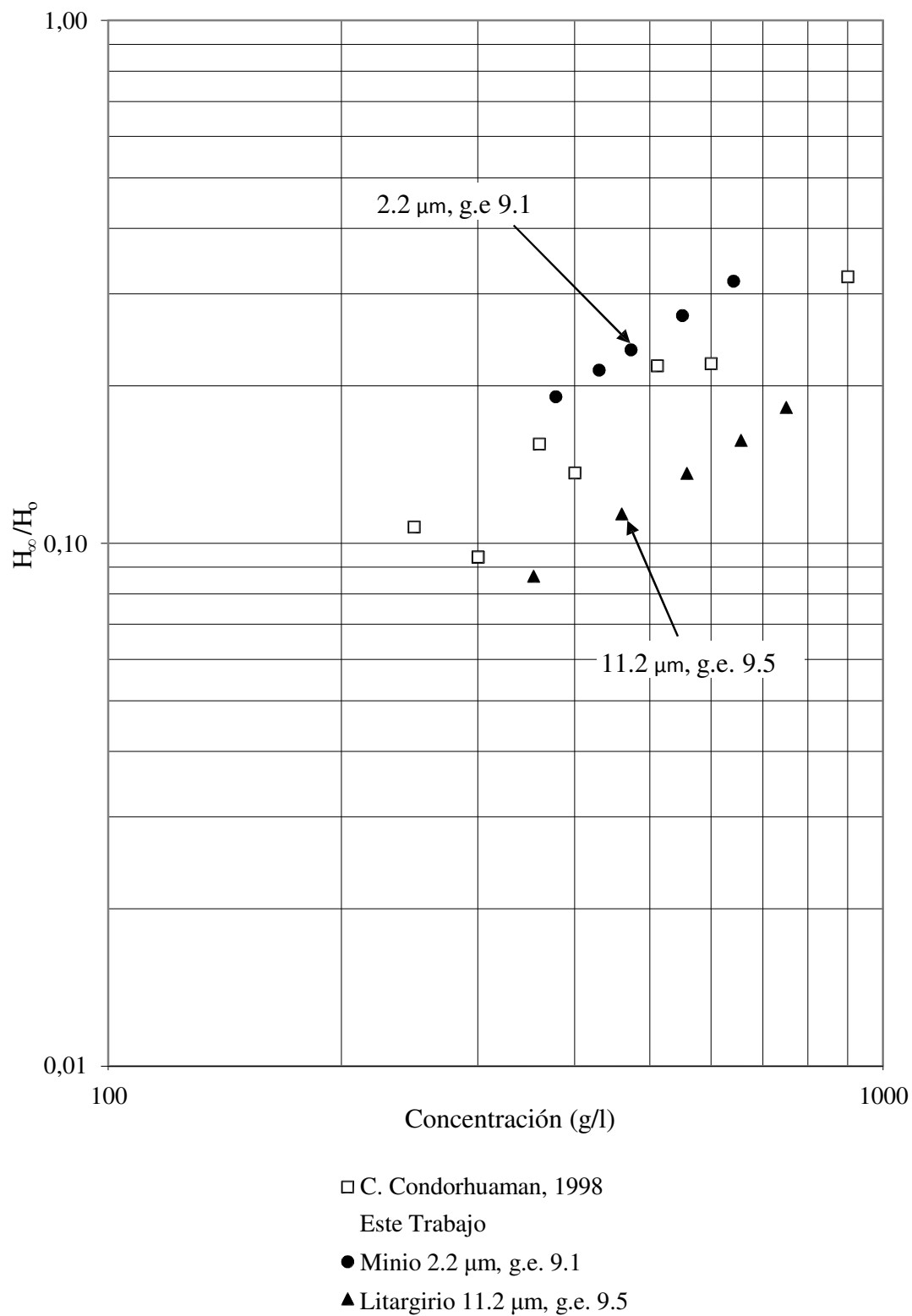


Figura 16(B). Concentración relativa de suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.



**Figura 17.** Concentración relativa de suspensiones acuosas de sulfato de bario.



**Figura 18.** Concentración relativa de suspensiones acuosas de óxido de plomo.



### Apéndice 3

Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de suspensiones acuosas de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

Tabla N° 32

Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio.

| Carbonato de calcio               | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ | $\pm\Delta Y$ (95%) | Desviación Estándar |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| R. Lama, 1963                     | 2,7                 | -                                     | 0.108                                   | 0.006               | 0.008               |
| Brady, 1963                       | 2,7                 | -                                     | 0.094                                   | 0.012               | 0.014               |
| Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940 | 2,6                 | 12.6                                  | 0.107                                   | 0.012               | 0.013               |
| <u>Este trabajo:</u>              |                     |                                       |   |                     |                     |
| Químicamente Puro, Mallinckrodt   | 2,7                 | 24.8                                  | 0.180                                   | 0.009               | 0.006               |
| Micronizado FM-1000               | 2,7                 | 1.4                                   | 0.193                                   | 0.005               | 0.012               |
| Precipitado, El Nevado            | 2,6                 | 2.2                                   | 0.240                                   | 0.006               | 0.013               |
| Precipitado, Diamante Rojo        | 2,6                 | 6.9                                   | 0.310                                   | 0.009               | 0.011               |
| Carbonato TE 100                  | 2,6                 | 18.2                                  | 0.375                                   | 0.010               | 0.012               |

Tabla N° 33

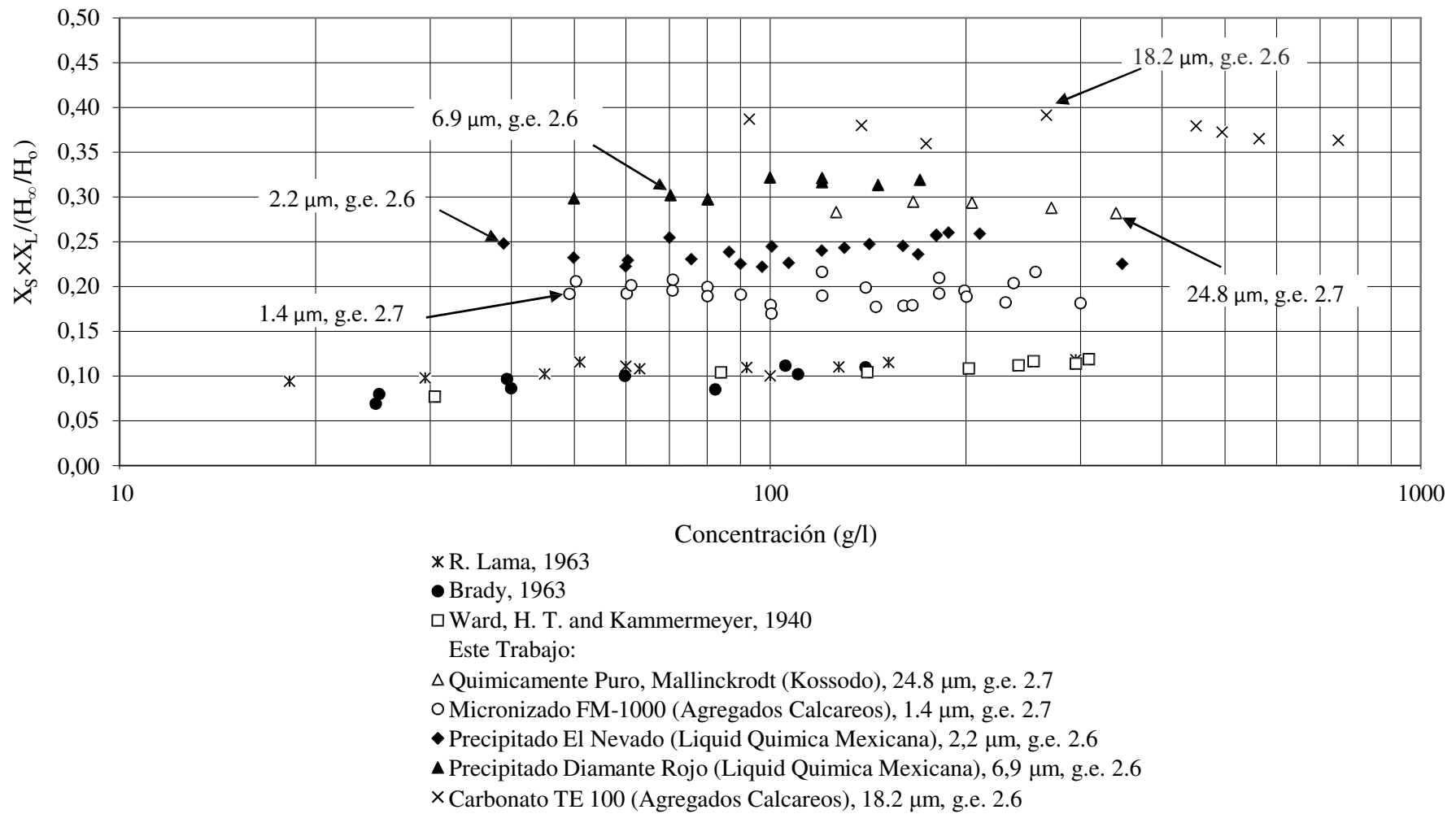
Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario.

| Sulfato de bario                     | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ | $\pm\Delta Y$ (95%) | Desviación Estándar |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940    | 4,2                 | 18.0                                  | 0.156                                   | 0.011               | 0.018               |
| <u>Este Trabajo:</u>                 |                     |                                       |   |                     |                     |
| Químicamente Puro, Riedel de Haen AG | 4,1                 | 1.3                                   | 0.146                                   | 0.001               | 0.002               |
| Baritina Blanca Micronizada Especial | 4,5                 | 1.5                                   | 0.266                                   | 0.008               | 0.009               |
| Baritina Blanca Micronizada          | 4,5                 | 3.6                                   | 0.330                                   | 0.015               | 0.023               |
| Baritina PM Grado API                | 4,1                 | 13.6                                  | 0.416                                   | 0.006               | 0.008               |
| Baritina Comercial                   | 4,2                 | 22.0                                  | 0.393                                   | 0.010               | 0.010               |

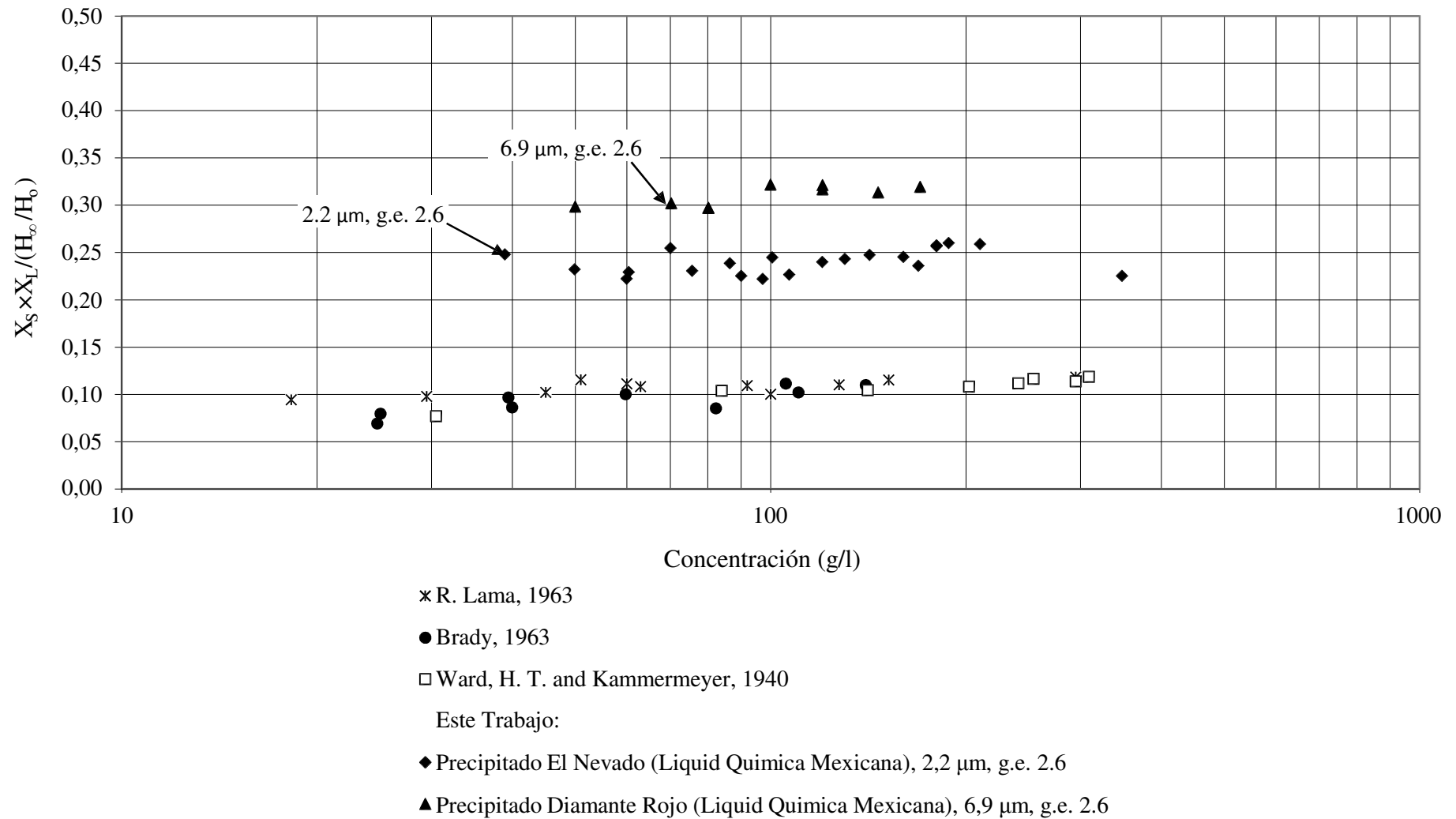
Tabla N° 34

Resultados de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo.

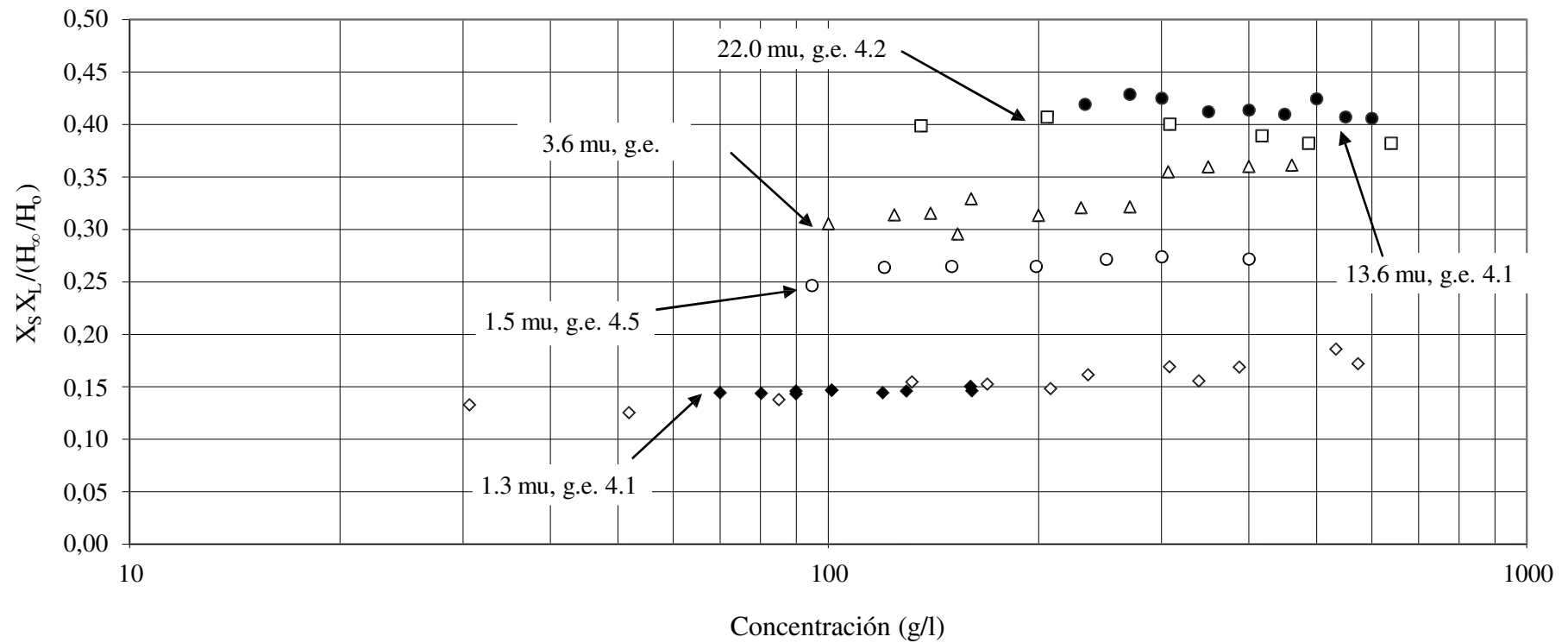
| Óxido de plomo        | Gravedad Específica | Tamaño de Partícula ( $\mu\text{m}$ ) | $\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_0)}$ | $\pm\Delta Y$ (95%) | Desviación Estándar |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| C. Condorhuaman, 1998 | 9,2                 | -                                     | 0.280                                   | 0.006               | 0.005               |
| <u>Este Trabajo:</u>  |                     |                                       |   |                     |                     |
| Minio                 | 9,1                 | 2.2                                   | 0.209                                   | 0.002               | 0.002               |
| Litargirio            | 9,5                 | 11.2                                  | 0.407                                   | 0.025               | 0.035               |



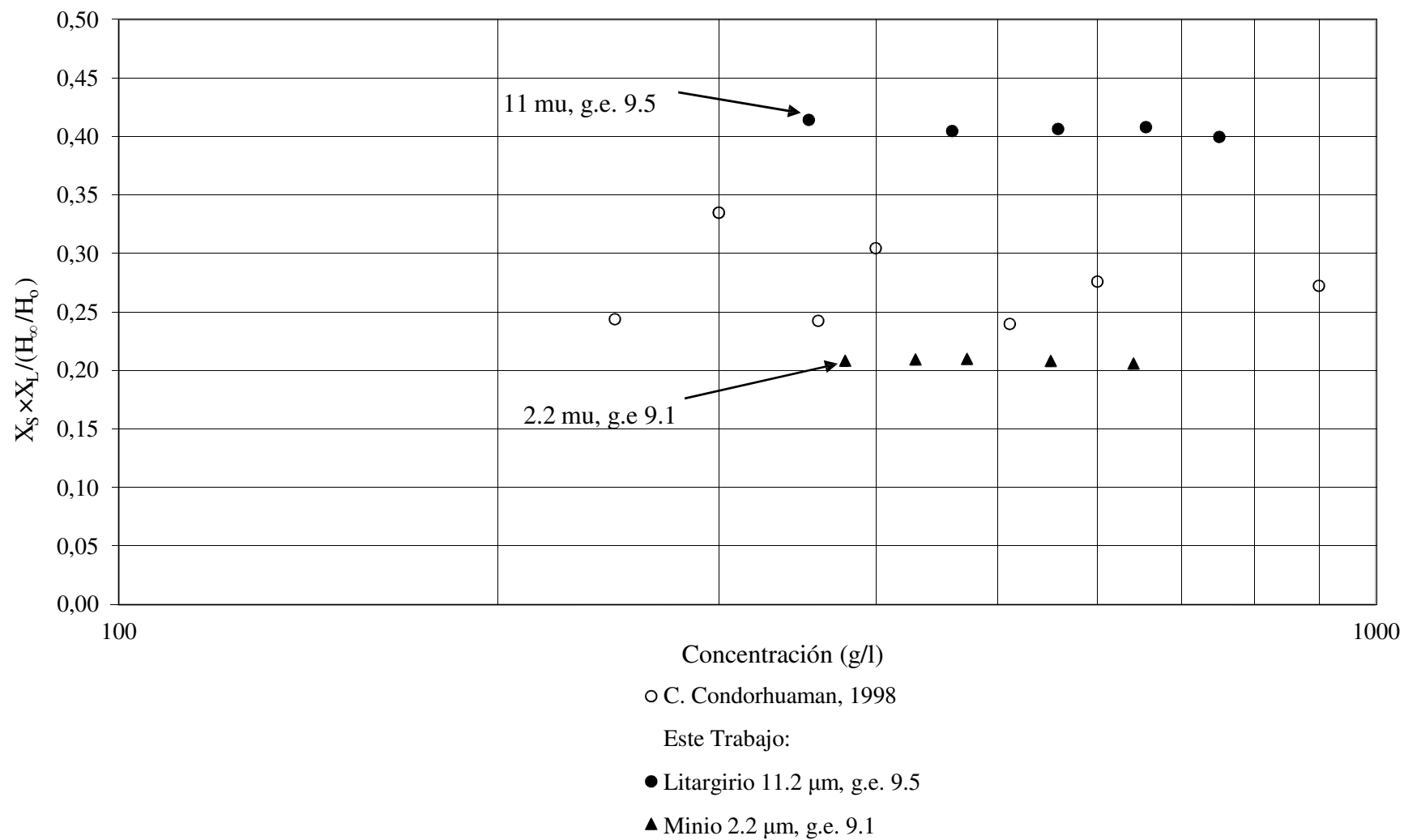
**Figura 19(A).** Concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio.



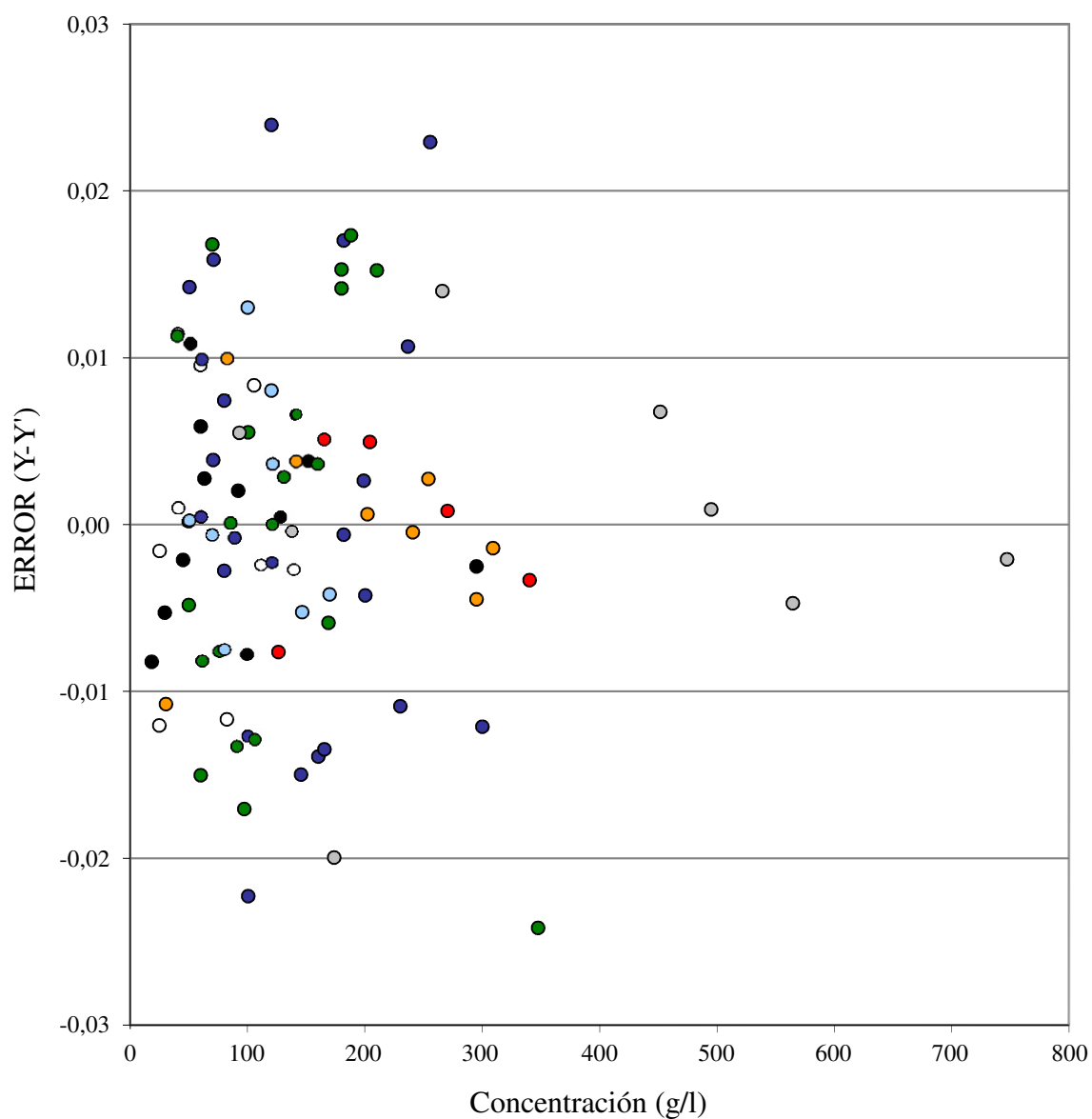
**Figura 19(B).** Concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio precipitado.



**Figura 20.** Concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario.



**Figura 21.** Concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo.



● R. Lama, 1963

○ Brady, 1963

● Ward, H. T. and Kammermeyer, 1940

Este Trabajo:

● Químicamente Puro, Mallinckrodt (Kossodo), 24.8  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

● Micronizado FM-1000 (Agregados Calcareos), 1.4  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.7

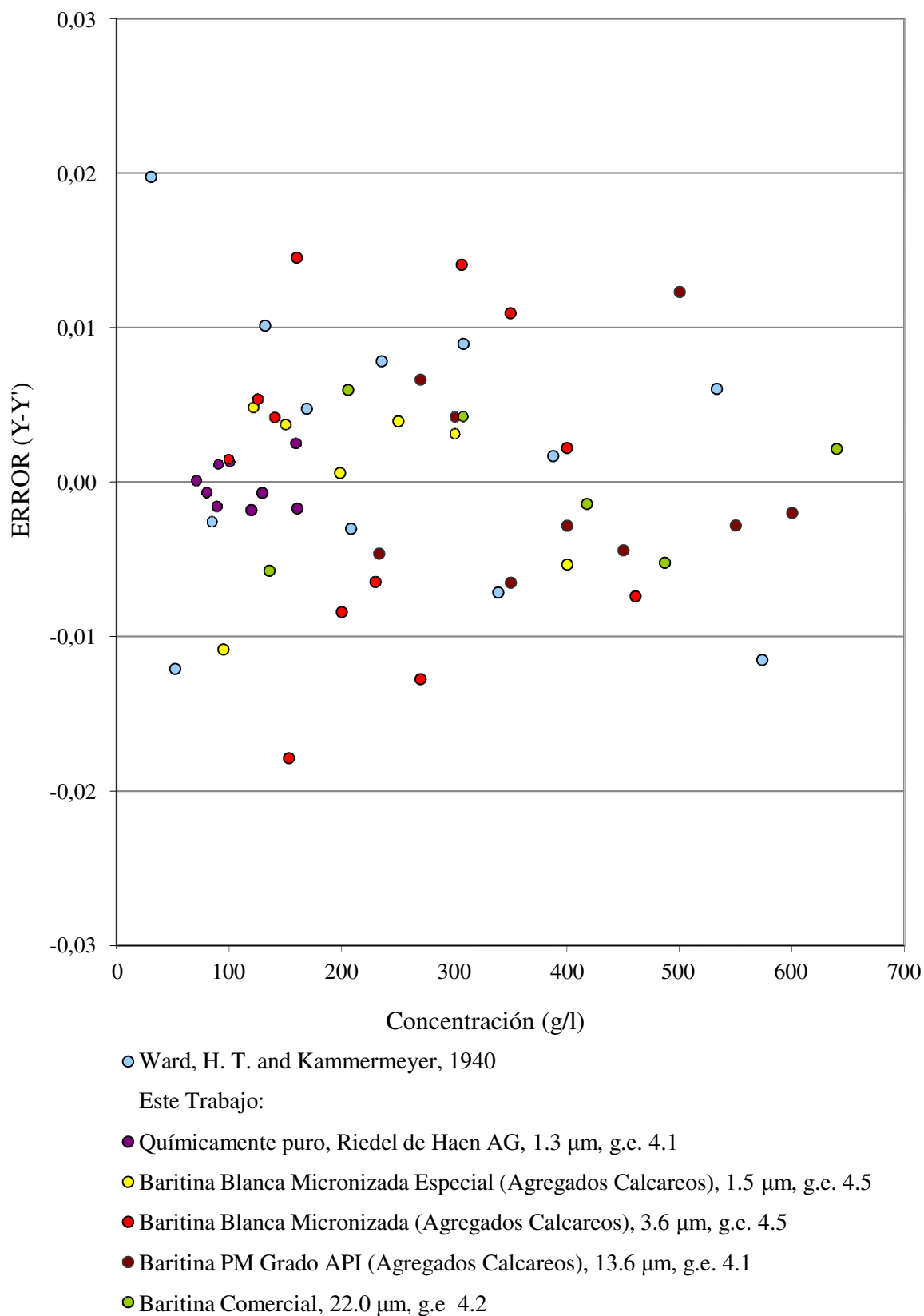
● Precipitado El Nevado (Liquid Quimica Mexicana), 2.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

● Precipitado Diamante Rojo (Liquid Quimica Mexicana), 6.9  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

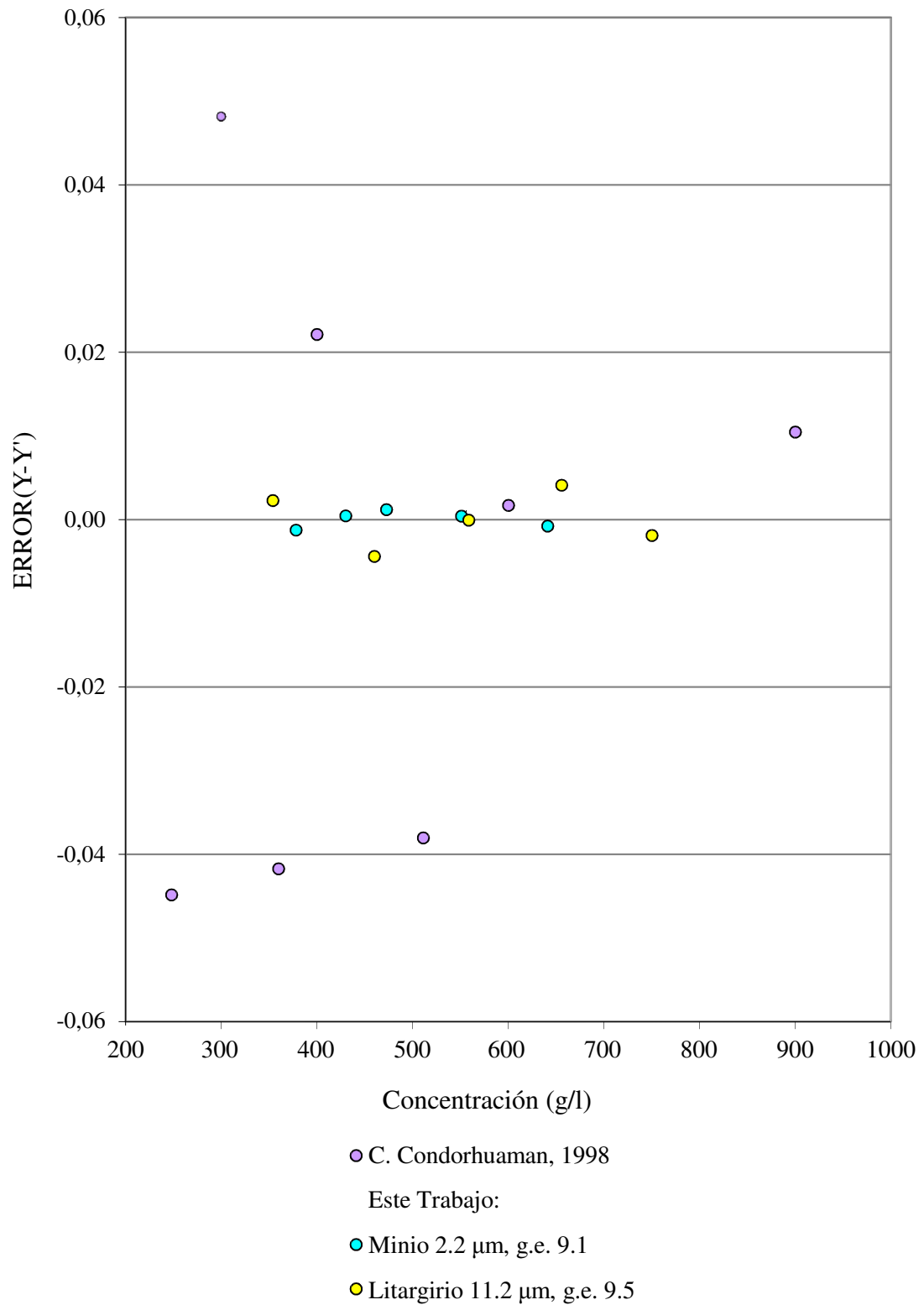
○ Carbonato TE 100 (Agregados Calcareos), 18.2  $\mu\text{m}$ , g.e. 2.6

**Figura 22.** Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de carbonato de calcio.

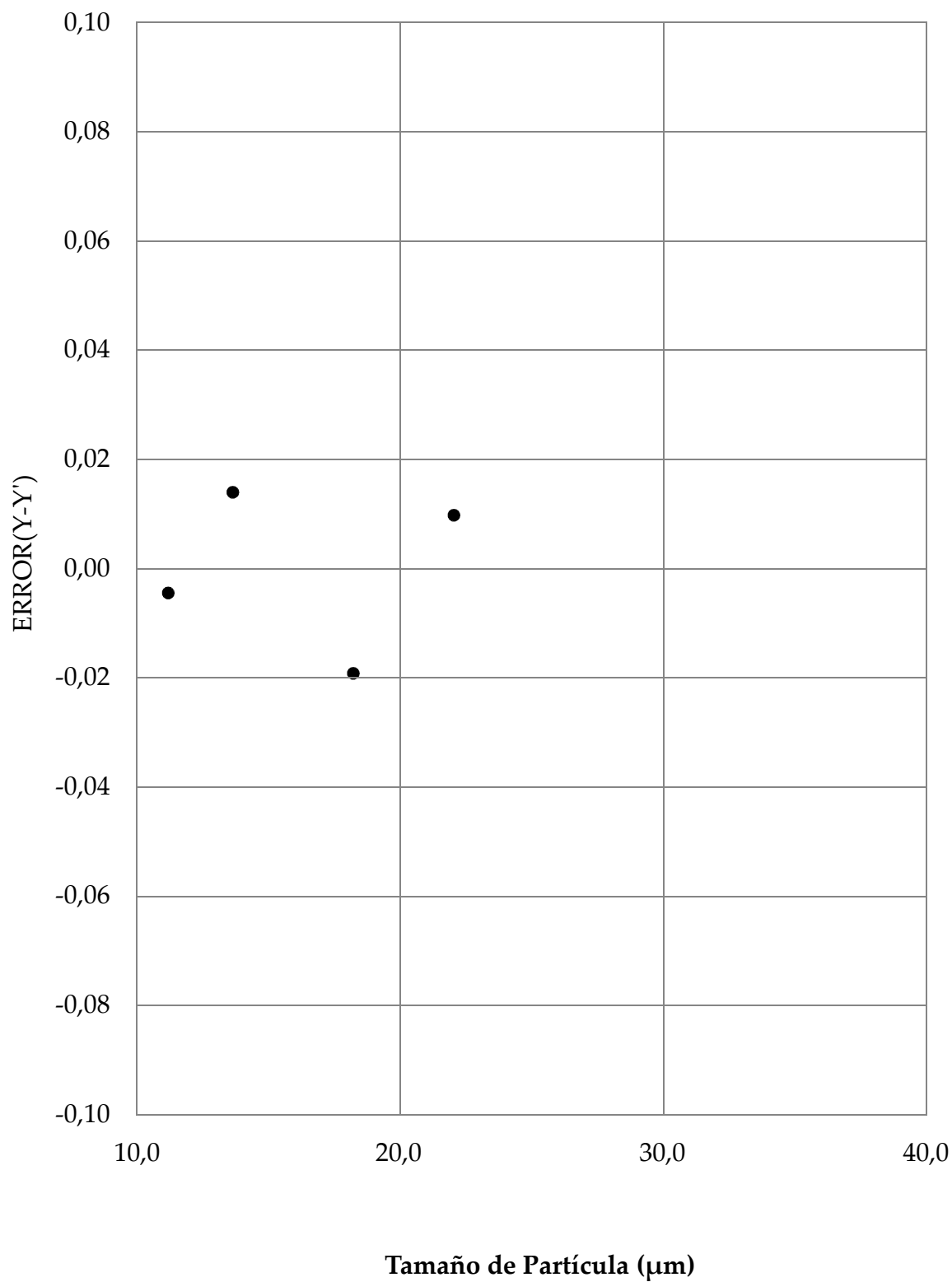




**Figura 23.** Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de sulfato de bario.



**Figura 24.** Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de óxido de plomo.



**Figura 25.** Análisis residual de la concentración relativa en las fracciones volumétricas de las suspensiones acuosas de tamaño de partícula mayores a 10 μm.

## Apéndice 4

### Datos Estadísticos

#### 4.1. Reproducibilidad de los datos

De la figura N° 19 se obtuvieron los resultados de la tabla N° 35 donde el coeficiente de correlación es 0.995 concluyendo que la velocidad de sedimentación versus su concentración están linealmente relacionados, de la forma general de la ecuación (17).

Con una desviación de 0.068, aplicando la distribución de CHI Cuadrado ( $X^2$ ) para cada toma de muestras, de la siguiente ecuación:

$$X^2 = \frac{n S^2}{\sigma^2} \dots (20)$$

Donde los grados de libertad son  $n-1$ ,  $s$  es la desviación de la muestra y  $\sigma$  es desviación de la población. Para concentraciones de 80 g/L obtenemos un valor de 2.66 y de tablas para 2 grados de libertad y significación del 5% obtenemos un valor de 5.99. Como este valor es mayor que el calculado, podemos pensar con un 95% de probabilidades que los valores de la velocidad de sedimentación de la tabla N° 36 no varían significativamente y se pueden considerar constantes dentro del error experimental.

Los datos experimentales y resultados del grado de compactación del Carbonato de Calcio Micronizado FM-1000 (relación de alturas) están relacionados linealmente con la concentración de la suspensión como se observa en la figura N° 25 obteniendo un coeficiente de correlación igual a 0.987, forma general de la ecuación (17).

Como los valores de CHI Cuadrado ( $X^2$ ) calculados de la ecuación (20) son menores que los de las tablas a un 95 % de confianza mostrados en la tabla N° 38 que los valores del grado de compactación no varían significativamente y se pueden considerar constantes dentro del error experimental.

4.1.1. Datos para la velocidad de sedimentación discontinua

Tabla N° 35

Parámetros del análisis de regresión de la velocidad de sedimentación discontinua versus sus concentraciones del Carbonato de Calcio Micronizado FM-1000.

|         | K    | n    | r     | S <sub>YX</sub> |
|---------|------|------|-------|-----------------|
| FM-1000 | 1630 | 1.94 | 0.995 | 0.068           |

Tabla N° 36

Datos y resultados experimentales de la velocidad de sedimentación discontinua del Carbonato de Calcio Micronizado FM-1000.

| Concentración<br>(g/l) | H <sub>0</sub><br>(cm) | Velocidad<br>(cm/min) | Y    | S <sub>Y</sub> | X <sup>2</sup> <sub>Calculado</sub> | X <sup>2</sup> <sub>Tabla<br/>(95%)</sub> |
|------------------------|------------------------|-----------------------|------|----------------|-------------------------------------|---|
| 80.0                   | 43.6                   | 0.51                  |      |                |                                     |   |
| 80.1                   | 46.8                   | 0.33                  | 0.38 | 0.09           | 2.66                                | 5.99                                      |
| 80.1                   | 52.9                   | 0.31                  |      |                |                                     |   |
| 90.1                   | 47.1                   | 0.21                  |      |                |                                     |   |
| 90.3                   | 48.9                   | 0.24                  | 0.28 | 0.07           | 1.50                                | 5.99                                      |
| 91.1                   | 43.9                   | 0.37                  |      |                |                                     |   |
| 100.2                  | 53.4                   | 0.19                  |      |                |                                     |   |
| 100.4                  | 46.2                   | 0.18                  | 0.20 | 0.02           | 0.09                                | 5.99                                      |
| 102.3                  | 49.1                   | 0.22                  |      |                |                                     |   |
| 198.9                  | 47.0                   | 0.06                  |      |                |                                     |   |
| 200.3                  | 46.7                   | 0.06                  | 0.07 | 0.01           | 0.06                                | 7.81                                      |
| 199.1                  | 48.7                   | 0.09                  |      |                |                                     |   |
| 203.8                  | 48.5                   | 0.08                  |      |                |                                     |   |

4.1.2. Datos para la concentración relativa

Tabla N° 37

Parámetros del análisis de regresión de la concentración relativa versus sus concentraciones del carbonato de calcio micronizado FM-1000.

|         | $\alpha$ | n    | r     | S <sub>YX</sub> |
|---------|----------|------|-------|-----------------|
| FM-1000 | 0.0024   | 0.94 | 0.987 | 0.028           |

Tabla N° 38

Datos y resultados experimentales de la concentración relativa de la sedimentación discontinua del Carbonato de Calcio micronizado FM-1000.

| Concentración<br>(g/l) | H <sub>0</sub><br>(cm) | H <sub>∞</sub><br>(cm) | H <sub>∞</sub> /H <sub>0</sub> | Y    | S <sub>Y</sub> | X <sup>2</sup> <sub>Calculado</sub> | X <sup>2</sup> <sub>Tabla<br/>(95%)</sub> |
|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|------|----------------|-------------------------------------|---|
| 59.9                   | 48.9                   | 5.7                    | 0.12                           |      |                |                                     |   |
| 60.0                   | 43.8                   | 4.5                    | 0.10                           |      |                |                                     |   |
| 60.2                   | 52.6                   | 6.0                    | 0.11                           | 0.11 | 0.01           | 0.15                                | 7.81                                      |
| 61.1                   | 51.6                   | 5.7                    | 0.11                           |      |                |                                     |   |
| 71.0                   | 39.2                   | 5.0                    | 0.13                           |      |                |                                     |   |
| 70.7                   | 46.5                   | 6.1                    | 0.13                           | 0.13 | 0.00           | 0.04                                | 5.99                                      |
| 70.8                   | 51.7                   | 6.4                    | 0.12                           |      |                |                                     |   |
| 80.0                   | 43.6                   | 6.3                    | 0.14                           |      |                |                                     |   |
| 80.1                   | 46.8                   | 6.8                    | 0.15                           | 0.15 | 0.00           | 0.06                                | 5.99                                      |
| 80.1                   | 52.9                   | 8.1                    | 0.15                           |      |                |                                     |   |
| 90.1                   | 47.1                   | 8.0                    | 0.17                           |      |                |                                     |   |
| 90.3                   | 48.9                   | 8.1                    | 0.17                           | 0.17 | 0.00           | 0.04                                | 5.99                                      |
| 91.1                   | 43.9                   | 7.1                    | 0.16                           |      |                |                                     |   |
| 100.2                  | 53.4                   | 10.7                   | 0.20                           |      |                |                                     |   |
| 100.4                  | 46.2                   | 9.8                    | 0.21                           | 0.20 | 0.01           | 0.84                                | 5.99                                      |
| 102.3                  | 49.1                   | 8.7                    | 0.18                           |      |                |                                     |   |
| 120.1                  | 47.0                   | 9.3                    | 0.20                           |      |                |                                     |   |
| 120.3                  | 53.7                   | 12.1                   | 0.23                           | 0.21 | 0.01           | 0.50                                | 3.84                                      |
| 181.8                  | 51.1                   | 16.8                   | 0.33                           |      |                |                                     |   |
| 181.9                  | 46.8                   | 14.1                   | 0.30                           | 0.32 | 0.01           | 0.50                                | 3.84                                      |
| 181.9                  | 46.8                   | 14.1                   | 0.30                           |      |                |                                     |   |
| 198.9                  | 47.0                   | 16.5                   | 0.35                           |      |                |                                     |   |
| 200.3                  | 46.7                   | 17.1                   | 0.37                           |      |                |                                     |   |
| 199.1                  | 48.7                   | 15.0                   | 0.31                           | 0.34 | 0.02           | 2.61                                | 7.81                                      |
| 203.8                  | 48.5                   | 16.1                   | 0.33                           |      |                |                                     |   |

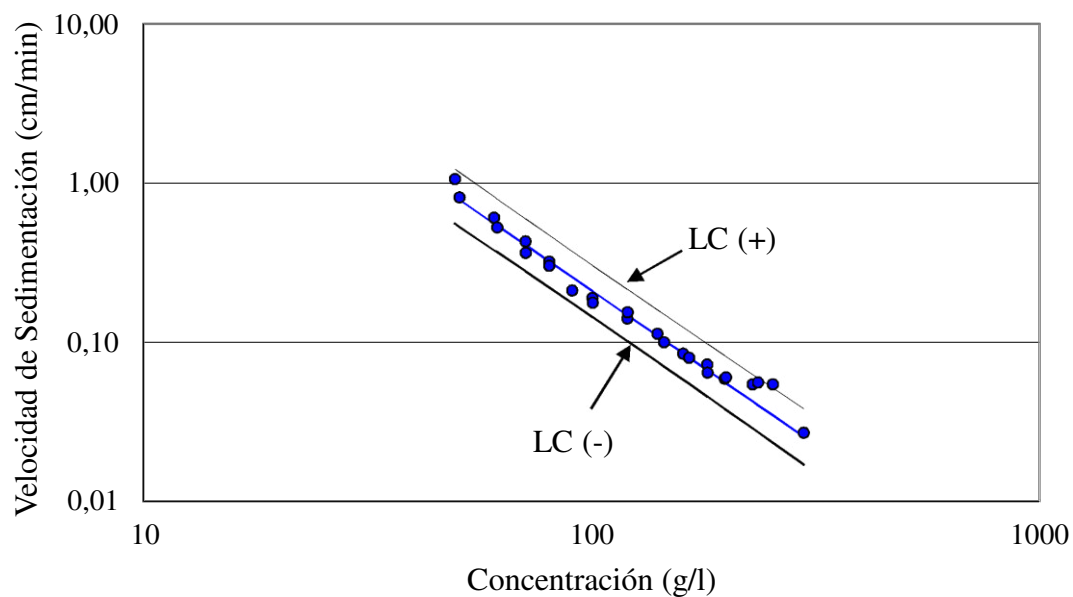


Figura 26. Velocidad de sedimentación de la suspensión acuosa de carbonato de calcio micronizado FM-1000.

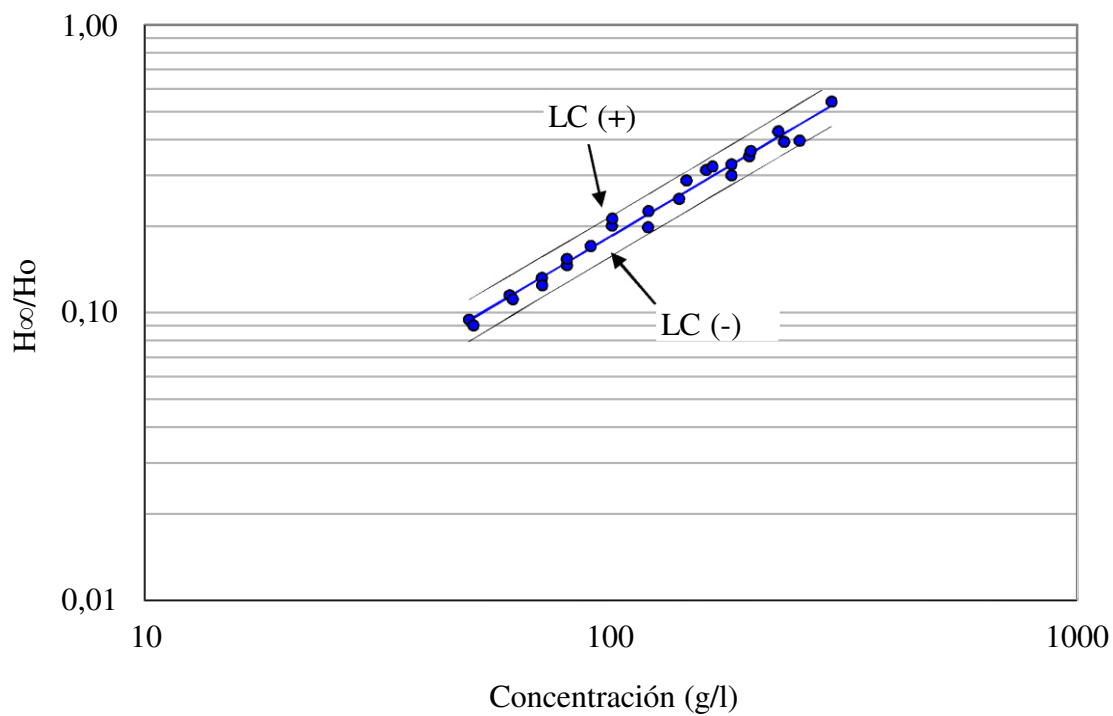


Figura 27. Concentración relativa de la suspensión acuosa de carbonato de calcio micronizado FM-1000.



#### 4.2. Datos Anómalos

En el análisis de los datos muestra que la figura N° 27 los puntos se adapta bastante bien a una línea recta con una pendiente de 2.13. La velocidad de sedimentación a una concentración de la suspensión de 353.9 g/L es 7.90 cm/min es claramente inferior a la esperada si se tiene en cuenta estas bases y existe alguna posibilidad que la desviación de la linealidad afecte también a la velocidad de sedimentación estándar de 460.0 g/L.

De la tabla N° 39 se observa que la suma de los cuadrados de los residuos es igual a 1.81. La tendencia de estos valores de los residuos sugiere que el primer valor de la tabla N° 39 esta probablemente fuera del intervalo lineal.

Aplicando regresión lineal a todos los puntos a excepción el primero la suma de cuadros es solo 0.14. El uso de la segunda ecuación de regresión muestra que la velocidad de sedimentación esperada para un concentración de 353.9 g/L es de 11.74 cm/min. Este fenómeno se debe a una formación difusa de la interface entre el líquido clarificado y la suspensión, es debido a las partículas finas barridas hacia fuera del volumen de la suspensión por el flujo del líquido de retorno desplazado por la sedimentación de los sólidos, formándose una suspensión de partículas finas sobre la suspensión principal. Usando la prueba  $t$  muestra a un 95 % de intervalo de confianza que este primer residuo es significativamente más grande que el promedio de los otros. Estableciendo que el primer punto puede excluirse del intervalo lineal, repitiendo el proceso para estudiar el punto (460.0, 6.47). La suma de cuadrados de los residuos es 0.001 este valor es más grande que los otros residuos pero no en una cantidad significativa. De este modo podemos concluir que es razonablemente seguro incluir el punto (460.0, 6.47) dentro del intervalo lineal del método.

Tabla N° 39

Análisis de resultados de la velocidad de sedimentación con una Línea de Tendencia N° 1 del Litargirio

| Concentración<br>(g/l) | V <sub>Experimental</sub><br>(cm/min) | V <sub>Calculada</sub><br>(cm/min) | Residuos | Residuos<br>Cuadrado |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
| 353.9                  | 7.90                                  | 8.91                               | -1.01    | 1.02                 |
| 460.0                  | 6.47                                  | 5.76                               | 0.71     | 0.50                 |
| 558.5                  | 4.58                                  | 4.17                               | 0.40     | 0.16                 |
| 655.8                  | 3.35                                  | 3.20                               | 0.16     | 0.02                 |
| 750.1                  | 2.23                                  | 2.56                               | -0.33    | 0.11                 |
|                        |                                       |                                    | -0.07    | 1.81                 |

Tabla N° 40

Análisis de resultados de la velocidad de sedimentación con una Línea de Tendencia N° 2 del Litargirio

| Concentración<br>(g/l) | V <sub>Experimental</sub><br>(cm/min) | V <sub>Calculada</sub><br>(cm/min) | Residuos | Residuos<br>Cuadrado |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
| 353.9                  | 7.90                                  | 11.74                              | -3.84    | 14.74                |
| 460.0                  | 6.47                                  | 6.71                               | -0.24    | 0.06                 |
| 558.5                  | 4.58                                  | 4.44                               | 0.14     | 0.02                 |
| 655.8                  | 3.35                                  | 3.15                               | 0.20     | 0.04                 |
| 750.1                  | 2.23                                  | 2.36                               | -0.13    | 0.02                 |
|                        |                                       |                                    | 0.0      | 0.14                 |

Tabla N° 41

Resultados del Análisis de la velocidad de sedimentación del Litargirio

| Línea de Tendencia | b    | K       | r     | Desviación estándar | Varianza | Cuadrados de los Residuos | t <sub>Calculado</sub> | t <sub>Tablas</sub> |
|--------------------|------|---------|-------|---------------------|----------|---------------------------|------------------------|---------------------|
| 1                  | 1.66 | 154444  | 0.972 | 0.7777              | 0.6049   | 1.81                      | 17.55                  | 2.78                |
| 2                  | 2.13 | 3223580 | 0.992 | 0.2138              | 0.0457   | 0.13                      | 0.35                   | 3.18                |

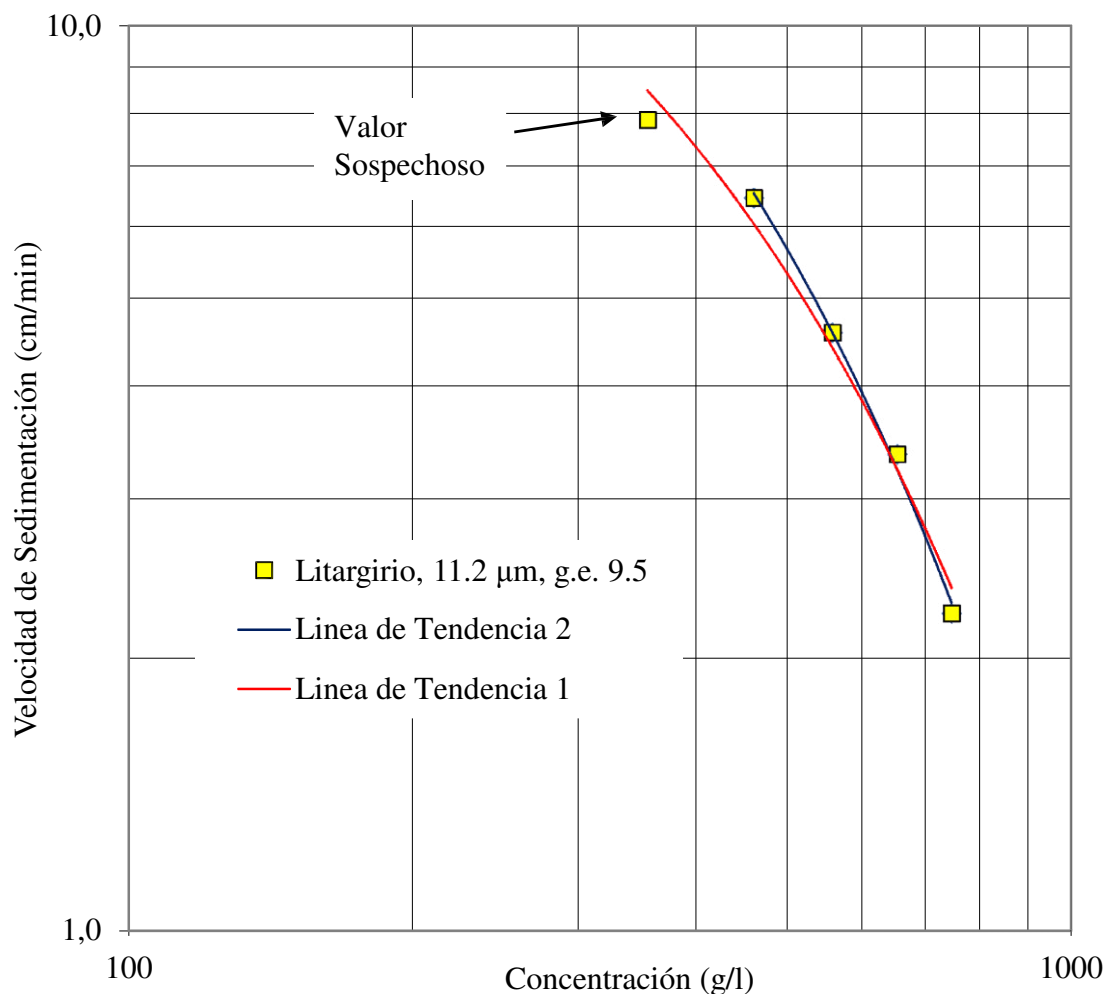


Figura 28. Comparación de las tendencias de la regresión lineal de la velocidad de sedimentación del Litargirio.

#### 4.3. Coeficiente de Correlación Significativo

De la figura 12 (B) muestra el valor de  $r$  obtenido relativamente bajo, en este caso es necesario utilizar una prueba estadística para ver si el coeficiente de correlación es realmente significativo; el método más simple es calcular un valor  $t$ , usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{|r|\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \quad \dots (21)$$

El valor calculado de  $t$  se compara con el tabulado al nivel significación deseado, usando una prueba  $t$  de *dos colas* y  $(n - 2)$  grados de libertad. La *hipótesis nula* en este caso es que no existe correlación entre  $x$  e  $y$ . Los valores calculados se muestran en la tabla 42, en donde el valor calculado de  $t$  es mayor que el tabulado, por tal motivo la *hipótesis nula* se rechaza, indicando que hay una evidencia suficiente para señalar que existe una correlación significativa entre los parámetros con un 95% de probabilidad.

Tabla N° 42

Datos estadístico del coeficiente de correlación entre tamaño de la partícula y la concentración relativa, en las fracciones volumétricas.

| Coeficiente de Correlación, $r$ | $t$ Calculado | $t$ Tablas |
|---------------------------------|---------------|------------|
| 0.9362                          | 5.33          | 2.78       |

## Apéndice 5

### Ejemplo de Cálculos

### 5.1. Calculo de la velocidad de sedimentación experimental

Para calcular la velocidad de sedimentación experimental, se baso en los ensayos de sedimentación discontinua, donde se realizaron en las mismas condiciones y a diferentes concentraciones. La suspensión bien homogenizada se deja en reposo, comenzando así la sedimentación; se lee la altura de la interfase entre el líquido clarificado y la suspensión, en función del tiempo. De esta forma son representados los datos en curvas de sedimentación. A partir de la curva de sedimentación se determina la mejor pendiente de la curva; la cual representa la velocidad de sedimentación experimental.

Utilizando una concentración de 49.1 g/L del carbonato de calcio micronizado FM-1000, se grafica altura de la interface (cm) versus tiempo (minutos), luego obtenemos la ecuación de la recta originada por la pendiente de la curva de sedimentación. Aplicando una regresión lineal sobre la sección recta de la curva; hallamos la mejor correlación de la recta (mediante la programación del Ing. Ilder Barbarán) y así obtenemos la velocidad de sedimentación:

$$y = -1.094 x + 52.361 \quad ; R^2 = 0.99999$$

Donde la pendiente de la ecuación va hacer igual a la velocidad de sedimentación.

$$\text{Velocidad de sedimentación} = 1.094 \text{ cm/min}$$

En las Tablas del N° 4 al 15 se muestran las velocidades de sedimentación en las diferentes concentraciones, de los diferentes tipos de materiales (carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo).

### 5.2. Calculo de la altura final de la suspensión sedimentada

La altura final, la cual la suspensión sedimenta, se determinó de la lectura de la altura entre el líquido clarificado y la suspensión, en la cual alcanza su máxima compacidad, es decir, hasta que la altura no varía.

### 5.3. Calculo de la fracción volumétrica sobre la concentración relativa

Para hallar los valores de:

$$\frac{X_S \times X_L}{(H_\infty/H_o)} \dots (22)$$

donde;  $X_S$  y  $X_L$  son las fracciones volumétricas del lecho inicial del sólido y líquido respectivamente;  $H_o$  y  $H_\infty$  son las alturas iniciales y finales.

Como;

$$X_S = \frac{\text{Volumen del sólido}}{\text{Volumen del lecho}} = \frac{C_o}{\rho_s} \dots (23)$$

donde;  $\rho_s$  es la densidad del sólido,  $C_o$  es la concentración inicial de la suspensión. Luego:

$$X_L = 1 - X_S \dots (24)$$

### Apéndice 6

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.



Tabla N° 43

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio químicamente puro, Mallinckrodt (150.0 – 390.8 g/l).

| 150.0 g/L |       | 199.7 g/L |       | 278.3 g/L |       | 390.8 g/L |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0,0       | 38,0  | 0,0       | 38,5  | 0,0       | 35,7  | 0,0       | 37,0  |
| 0,4       | 37,0  | 0,3       | 38,0  | 0,8       | 35,0  | 0,2       | 36,9  |
| 0,8       | 36,0  | 1,1       | 37,0  | 2,2       | 34,0  | 2,7       | 36,0  |
| 1,3       | 35,0  | 1,9       | 36,0  | 3,5       | 33,0  | 5,1       | 35,0  |
| 1,9       | 34,0  | 2,7       | 35,0  | 4,8       | 32,0  | 7,5       | 34,0  |
| 2,4       | 33,0  | 3,5       | 34,0  | 6,1       | 31,0  | 10,0      | 33,0  |
| 2,9       | 32,0  | 4,2       | 33,0  | 7,3       | 30,0  | 12,4      | 32,0  |
| 3,4       | 31,0  | 5,0       | 32,0  | 8,6       | 29,0  | 14,7      | 31,0  |
| 3,9       | 30,0  | 5,7       | 31,0  | 9,8       | 28,0  | 17,0      | 30,0  |
| 4,4       | 29,0  | 6,4       | 30,0  | 11,1      | 27,0  | 19,4      | 29,0  |
| 5,0       | 28,0  | 7,2       | 29,0  | 12,3      | 26,0  | 250,0     | 28,2  |
| 5,5       | 27,0  | 7,9       | 28,0  | 13,5      | 25,0  |           |       |
| 6,0       | 26,0  | 8,7       | 27,0  | 14,7      | 24,0  |           |       |
| 6,6       | 25,0  | 9,4       | 26,0  | 16,0      | 23,0  |           |       |
| 7,1       | 24,0  | 10,1      | 25,0  | 17,2      | 22,0  |           |       |
| 7,6       | 23,0  | 10,9      | 24,0  | 20,7      | 21,0  |           |       |
| 8,2       | 22,0  | 11,8      | 22,7  | 73,0      | 20,7  |           |       |
| 8,7       | 21,0  | 12,3      | 22,0  |           |       |           |       |
| 9,3       | 20,0  | 13,1      | 21,0  |           |       |           |       |
| 9,8       | 19,0  | 13,8      | 20,0  |           |       |           |       |
| 10,4      | 18,0  | 14,5      | 19,0  |           |       |           |       |
| 10,9      | 17,0  | 16,8      | 17,9  |           |       |           |       |
| 11,4      | 16,0  | 22,7      | 17,7  |           |       |           |       |
| 12,0      | 15,0  | 48,1      | 17,6  |           |       |           |       |
| 12,6      | 14,0  |           |       |           |       |           |       |
| 17,8      | 13,0  |           |       |           |       |           |       |
| 117,5     | 11,5  |           |       |           |       |           |       |

Tabla N° 44

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (49.9 – 70.8 g/l).

| 49.1 g/l |       | 50.3 g/l |       | 60.2 g/l |       | 61.1 g/l |       | 69.8 g/l |       | 70.7 g/l |       | 70.8 g/l |       |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) |
| 0.0      | 52.3  | 0.0      | 51.5  | 0.0      | 52.6  | 0.0      | 51.6  | 0.0      | 52.3  | 0.0      | 46.5  | 0.0      | 51.7  |
| 0.4      | 52.0  | 0.7      | 51.0  | 0.8      | 52.0  | 1.2      | 51.0  | 0.9      | 51.8  | 2.6      | 45.6  | 1.8      | 51.0  |
| 1.3      | 51.0  | 1.9      | 50.0  | 2.4      | 51.0  | 3.0      | 50.0  | 2.3      | 51.0  | 4.1      | 44.9  | 4.2      | 50.0  |
| 2.2      | 50.0  | 3.2      | 49.0  | 4.0      | 50.0  | 4.8      | 49.0  | 4.2      | 50.0  | 5.6      | 44.2  | 6.8      | 49.0  |
| 3.1      | 49.0  | 4.3      | 48.0  | 5.6      | 49.0  | 6.7      | 48.0  | 5.9      | 49.0  | 7.0      | 43.6  | 9.5      | 48.0  |
| 4.0      | 48.0  | 5.5      | 47.0  | 7.2      | 48.0  | 8.5      | 47.0  | 7.7      | 48.0  | 8.6      | 42.9  | 12.2     | 47.0  |
| 4.9      | 47.0  | 6.7      | 46.0  | 8.8      | 47.0  | 10.4     | 46.0  | 9.4      | 47.0  | 10.2     | 42.2  | 14.9     | 46.0  |
| 5.8      | 46.0  | 7.9      | 45.0  | 10.5     | 46.0  | 12.3     | 45.0  | 11.2     | 46.0  | 11.8     | 41.5  | 17.7     | 45.0  |
| 6.7      | 45.0  | 9.1      | 44.0  | 12.1     | 45.0  | 14.2     | 44.0  | 12.9     | 45.0  | 12.9     | 41.0  | 20.7     | 43.9  |
| 7.7      | 44.0  | 10.3     | 43.0  | 13.7     | 44.0  | 16.1     | 43.0  | 14.6     | 44.0  | 14.8     | 40.2  | 23.0     | 43.0  |
| 8.6      | 43.0  | 11.5     | 42.0  | 15.3     | 43.0  | 18.0     | 42.0  | 16.3     | 43.0  | 16.4     | 39.5  | 25.8     | 42.0  |
| 9.5      | 42.0  | 12.7     | 41.0  | 16.9     | 42.0  | 19.9     | 41.0  | 17.9     | 42.0  | 17.5     | 39.0  | 28.4     | 41.0  |
| 10.4     | 41.0  | 13.9     | 40.0  | 18.5     | 41.0  | 21.8     | 40.0  | 19.6     | 41.0  | 19.1     | 38.3  | 31.1     | 40.0  |
| 11.3     | 40.0  | 15.1     | 39.0  | 20.1     | 40.0  | 23.7     | 39.0  | 21.5     | 39.9  | 20.5     | 37.7  | 33.8     | 39.0  |
| 12.2     | 39.0  | 16.2     | 38.0  | 21.7     | 39.0  | 25.7     | 38.0  | 23.0     | 39.0  | 22.1     | 37.0  | 36.5     | 38.0  |
| 13.1     | 38.0  | 17.4     | 37.0  | 23.3     | 38.0  | 27.6     | 37.0  | 24.6     | 38.0  | 23.7     | 36.3  | 39.2     | 37.0  |
| 14.1     | 37.0  | 18.6     | 36.0  | 24.9     | 37.0  | 29.5     | 36.0  | 26.3     | 37.0  | 25.4     | 35.5  | 42.0     | 36.0  |
| 15.0     | 36.0  | 19.9     | 35.0  | 26.5     | 36.0  | 31.5     | 35.0  | 27.9     | 36.0  | 26.6     | 35.0  | 44.7     | 35.0  |
| 15.9     | 35.0  | 21.0     | 34.0  | 28.1     | 35.0  | 33.5     | 34.0  | 29.5     | 35.0  | 28.2     | 34.3  | 47.5     | 34.0  |
| 16.8     | 34.0  | 22.2     | 33.0  | 29.8     | 34.0  | 35.5     | 33.0  | 31.2     | 34.0  | 29.5     | 33.7  | 50.3     | 33.0  |
| 17.8     | 33.0  | 23.5     | 32.0  | 31.4     | 33.0  | 37.5     | 32.0  | 32.8     | 33.0  | 30.9     | 33.1  | 53.2     | 32.0  |
| 18.7     | 32.0  | 24.7     | 31.0  | 33.0     | 32.0  | 39.6     | 31.0  | 34.5     | 32.0  | 32.4     | 32.4  | 56.1     | 31.0  |
| 19.7     | 31.0  | 26.0     | 30.0  | 34.6     | 31.0  | 41.8     | 30.0  | 36.1     | 31.0  | 35.1     | 31.2  | 59.2     | 30.0  |
| 20.6     | 30.0  | 27.2     | 29.0  | 36.3     | 30.0  | 44.0     | 29.0  | 37.8     | 30.0  | 36.2     | 30.8  | 62.3     | 29.0  |
| 21.6     | 29.0  | 28.8     | 27.8  | 38.0     | 29.0  | 46.2     | 28.0  | 39.4     | 29.0  | 37.6     | 30.1  | 65.5     | 28.0  |
| 22.6     | 28.0  | 29.8     | 27.0  | 39.8     | 28.0  | 48.8     | 26.9  | 41.1     | 28.0  | 39.0     | 29.5  | 68.9     | 27.0  |
| 23.6     | 27.0  | 31.2     | 26.0  | 41.7     | 27.0  | 51.0     | 26.0  | 42.9     | 27.0  | 40.3     | 28.9  | 72.5     | 26.0  |
| 24.5     | 26.0  | 32.6     | 25.0  | 43.7     | 26.0  | 53.6     | 25.0  | 44.7     | 26.0  | 41.7     | 28.3  | 76.2     | 25.0  |
| 25.6     | 25.0  | 34.0     | 24.0  | 45.9     | 25.0  | 56.4     | 24.0  | 46.5     | 25.0  | 43.2     | 27.7  | 80.2     | 24.0  |
| 27.2     | 24.0  | 35.5     | 23.0  | 48.2     | 24.0  | 59.3     | 23.0  | 48.7     | 23.9  | 44.9     | 27.0  | 84.3     | 23.0  |
| 27.8     | 23.0  | 37.1     | 22.0  | 50.7     | 23.0  | 62.7     | 21.9  | 50.5     | 23.0  | 46.6     | 26.3  | 88.7     | 22.0  |
| 29.6     | 21.5  | 38.8     | 21.0  | 53.3     | 22.0  | 65.7     | 21.0  | 53.0     | 21.9  | 48.3     | 25.6  | 93.3     | 21.0  |
| 30.2     | 21.0  | 40.8     | 20.0  | 56.0     | 21.0  | 69.2     | 20.0  | 56.2     | 20.7  | 50.3     | 24.8  | 97.9     | 20.0  |
| 31.7     | 20.0  | 43.0     | 19.0  | 59.0     | 20.0  | 73.0     | 19.0  | 58.0     | 20.0  | 51.9     | 24.2  | 103.1    | 18.9  |
| 33.3     | 19.0  | 45.6     | 18.0  | 61.9     | 19.0  | 77.0     | 18.0  | 61.5     | 18.8  | 53.5     | 23.6  | 107.9    | 17.9  |
| 35.2     | 18.0  | 48.5     | 17.0  | 65.2     | 18.0  | 81.3     | 17.0  | 64.3     | 17.9  | 55.2     | 23.0  | 112.5    | 17.0  |
| 37.5     | 17.0  | 51.7     | 16.0  | 68.5     | 17.0  | 85.7     | 16.0  | 67.3     | 17.0  | 56.8     | 22.4  | 117.6    | 16.0  |
| 40.7     | 15.8  | 55.3     | 15.0  | 72.0     | 16.0  | 92.5     | 14.5  | 71.0     | 15.9  | 59.3     | 21.6  | 123.1    | 15.0  |
| 43.2     | 14.9  | 59.0     | 14.0  | 75.6     | 15.0  | 94.9     | 14.0  | 75.4     | 14.7  | 61.4     | 20.9  | 129.3    | 14.0  |
| 46.6     | 13.8  | 63.0     | 13.0  | 79.5     | 14.0  | 101.8    | 12.7  | 78.0     | 14.0  | 63.4     | 20.3  | 136.1    | 13.0  |
| 49.3     | 13.0  | 67.3     | 12.0  | 84.3     | 13.0  | 106.0    | 12.0  | 82.4     | 12.9  | 68.7     | 18.8  | 146.7    | 11.6  |
| 53.2     | 11.9  | 71.8     | 11.0  | 90.1     | 11.9  | 113.9    | 10.9  | 88.2     | 11.6  | 75.8     | 17.0  | 151.5    | 11.0  |

|      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |       |      |
|------|------|------|------|-------|------|-------|-----|-------|------|------|------|-------|------|
| 57.0 | 10.9 | 76.8 | 10.0 | 95.2  | 11.0 | 122.3 | 9.8 | 94.3  | 10.5 | 80.2 | 16.0 | 172.0 | 10.0 |
| 60.8 | 10.0 | 82.8 | 9.0  | 101.0 | 10.0 | 133.7 | 9.0 | 100.4 | 10.1 | 84.6 | 15.0 | 235.1 | 9.0  |

Tabla N° 44 (*Continuación*)

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio

micronizado FM-1000 (49.9 – 70.8 g/l).

| 49.1 g/l |        | 50.3 g/l |        | 60.2 g/l |        | 61.1 g/l |        | 69.8 g/l |        | 70.7 g/l |        | 70.8 g/l t(min) |        |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|-----------------|--------|
| H(cm)    | t(min) | H(cm)    | t(min) | H(cm)    | t(min) | H(cm)    | t(min) | H(cm)    | t(min) | H(cm)    | t(min) | H(cm)           | t(min) |
| 66.0     | 8.9    | 91.4     | 7.8    | 123.7    | 9.0    | 899.0    | 6.2    | 106.3    | 10.0   | 94.2     | 13.0   | 1160.0          | 7.1    |
| 71.4     | 8.0    | 102.8    | 7.3    | 141.1    | 7.9    |          |        | 112.5    | 9.9    | 99.7     | 12.0   |                 |        |
| 92.6     | 7.0    |          |        | 268.3    | 7.4    |          |        | 140.2    | 9.2    | 105.8    | 11.1   |                 |        |
| 173.2    | 5.9    |          |        | 1535.0   | 6.0    |          |        | 227.1    | 8.0    | 115.1    | 9.8    |                 |        |
| 227.4    | 5.6    |          |        |          |        |          |        | 1097.0   | 5.7    | 124.1    | 9.0    |                 |        |
| 1037.0   | 4.9    |          |        |          |        |          |        |          |        | 179.9    | 8.0    |                 |        |
|          |        |          |        |          |        |          |        |          |        | 1823.0   | 6.1    |                 |        |

Tabla N° 45

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio

micronizado FM-1000 (80.1 – 120.3 g/l).

| 80.1 g/l |       | 80.2 g/l |       | 90.1 g/l |       | 100.2 g/l |       | 100.4 g/l |       | 120.1 g/l |       | 120.3 g/l |       |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0      | 52.9  | 0.0      | 52.6  | 0.0      | 47.1  | 0.0       | 53.4  | 0.0       | 52.7  | 0.0       | 47.0  | 0.0       | 53.0  |
| 3.1      | 51.8  | 1.5      | 52.0  | 2.3      | 46.5  | 5.3       | 52.3  | 3.4       | 51.9  | 3.7       | 46.5  | 6.0       | 52.0  |
| 6.2      | 50.8  | 3.9      | 51.0  | 4.1      | 46.1  | 10.4      | 51.3  | 6.7       | 51.1  | 6.9       | 46.0  | 11.6      | 51.0  |
| 9.2      | 49.9  | 6.4      | 50.0  | 6.0      | 45.7  | 15.5      | 50.3  | 10.0      | 50.3  | 10.2      | 45.5  | 17.7      | 50.0  |
| 12.2     | 49.0  | 8.8      | 49.0  | 8.2      | 45.2  | 20.7      | 49.3  | 13.4      | 49.5  | 13.8      | 45.0  | 23.7      | 49.0  |
| 15.5     | 48.0  | 11.3     | 48.0  | 10.1     | 44.8  | 25.9      | 48.3  | 16.7      | 48.7  | 17.3      | 44.5  | 29.9      | 48.0  |
| 18.7     | 47.0  | 13.9     | 46.9  | 12.1     | 44.4  | 31.2      | 47.3  | 20.1      | 47.9  | 20.7      | 44.0  | 36.2      | 47.0  |
| 21.8     | 46.1  | 16.1     | 46.0  | 14.3     | 43.9  | 36.5      | 46.3  | 23.4      | 47.1  | 24.1      | 43.5  | 42.5      | 46.0  |
| 25.0     | 45.1  | 18.4     | 45.0  | 16.8     | 43.4  | 41.6      | 45.3  | 26.4      | 46.4  | 27.7      | 43.0  | 48.9      | 45.0  |
| 28.3     | 44.1  | 20.7     | 44.0  | 19.2     | 42.9  | 46.9      | 44.3  | 29.7      | 45.6  | 31.3      | 42.5  | 55.4      | 44.0  |
| 31.3     | 43.2  | 23.0     | 43.0  | 21.1     | 42.5  | 52.2      | 43.3  | 32.7      | 44.9  | 34.9      | 42.0  | 62.0      | 43.0  |
| 34.6     | 42.2  | 25.4     | 42.0  | 24.0     | 41.9  | 57.4      | 42.3  | 36.1      | 44.1  | 38.4      | 41.5  | 68.4      | 42.0  |
| 37.7     | 41.2  | 27.6     | 41.0  | 26.0     | 41.5  | 62.6      | 41.3  | 39.1      | 43.4  | 42.0      | 41.0  | 74.8      | 41.0  |
| 40.9     | 40.2  | 29.9     | 40.0  | 28.2     | 41.0  | 67.7      | 40.3  | 42.5      | 42.6  | 45.6      | 40.5  | 81.3      | 40.0  |
| 44.1     | 39.2  | 32.2     | 39.0  | 30.1     | 40.6  | 73.0      | 39.3  | 45.4      | 41.9  | 49.2      | 40.0  | 87.9      | 39.0  |
| 47.2     | 38.2  | 34.4     | 38.0  | 32.0     | 40.2  | 78.2      | 38.3  | 48.8      | 41.1  | 52.7      | 39.5  | 94.4      | 38.0  |
| 50.4     | 37.2  | 36.7     | 37.0  | 34.3     | 39.7  | 83.4      | 37.3  | 52.1      | 40.3  | 56.3      | 39.0  | 100.9     | 37.0  |
| 53.5     | 36.2  | 39.0     | 36.0  | 36.2     | 39.3  | 89.1      | 36.2  | 55.0      | 39.6  | 59.7      | 38.5  | 107.4     | 36.0  |
| 56.6     | 35.2  | 41.3     | 35.0  | 38.0     | 38.9  | 94.8      | 35.1  | 58.4      | 38.8  | 63.3      | 38.0  | 114.0     | 35.0  |
| 59.7     | 34.2  | 43.6     | 34.0  | 40.0     | 38.5  | 99.9      | 34.1  | 62.1      | 37.9  | 66.9      | 37.5  | 121.1     | 33.9  |
| 62.7     | 33.2  | 46.2     | 32.9  | 42.3     | 38.0  | 104.9     | 33.3  | 65.5      | 37.1  | 70.2      | 37.0  | 126.8     | 33.0  |
| 65.7     | 32.2  | 48.3     | 32.0  | 44.2     | 37.6  | 110.0     | 32.1  | 68.8      | 36.3  | 74.4      | 36.4  | 133.2     | 32.0  |
| 68.8     | 31.2  | 50.7     | 31.0  | 46.5     | 37.1  | 115.1     | 31.1  | 72.1      | 35.5  | 77.4      | 36.0  | 139.6     | 31.0  |

|      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |       |      |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 71.8 | 30.2 | 53.1 | 30.0 | 48.3 | 36.7 | 120.2 | 30.1 | 75.5 | 34.7 | 80.8 | 35.5 | 146.0 | 30.0 |
| 74.9 | 29.2 | 55.6 | 29.0 | 50.7 | 36.2 | 125.2 | 29.1 | 78.7 | 33.9 | 84.3 | 35.0 | 152.5 | 29.0 |
| 78.0 | 28.2 | 58.1 | 28.0 | 52.5 | 35.8 | 130.3 | 28.1 | 82.1 | 33.1 | 87.8 | 34.5 | 158.9 | 28.0 |

Tabla N° 45 (Continuación)

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio

micronizado FM-1000 (80.1 – 120.3 g/l).

| 80.1 g/l |       | 80.2 g/l |       | 90.1 g/l |       | 100.2 g/l |       | 100.4 g/l |       | 120.1 g/l |       | 120.3 g/l |       |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 81.3     | 27.2  | 60.7     | 27.0  | 53.8     | 35.5  | 135.8     | 27.0  | 85.2      | 32.3  | 91.3      | 34.0  | 166.1     | 26.9  |
| 84.4     | 26.3  | 63.4     | 26.0  | 55.7     | 35.1  | 140.9     | 26.0  | 88.5      | 31.5  | 94.8      | 33.5  | 171.9     | 26.0  |
| 87.5     | 25.4  | 66.3     | 25.0  | 57.5     | 34.7  | 147.4     | 24.7  | 91.6      | 30.7  | 98.3      | 33.0  | 179.1     | 24.9  |
| 90.6     | 24.5  | 69.3     | 24.0  | 59.3     | 34.3  | 152.4     | 23.7  | 94.9      | 29.9  | 102.4     | 32.4  | 185.5     | 23.9  |
| 94.1     | 23.5  | 72.5     | 23.0  | 61.1     | 33.9  | 157.5     | 22.7  | 98.1      | 29.1  | 105.1     | 32.0  | 192.7     | 22.8  |
| 97.3     | 22.6  | 76.2     | 21.9  | 62.9     | 33.5  | 162.7     | 21.7  | 101.3     | 28.3  | 108.6     | 31.5  | 198.1     | 22.0  |
| 100.4    | 21.7  | 79.4     | 21.0  | 64.8     | 33.1  | 167.9     | 20.7  | 104.6     | 27.5  | 112.1     | 31.0  | 204.9     | 21.0  |
| 103.7    | 20.8  | 83.2     | 20.0  | 70.2     | 31.9  | 172.9     | 19.8  | 107.7     | 26.7  | 115.6     | 30.5  | 211.7     | 20.0  |
| 106.7    | 20.0  | 87.1     | 19.0  | 73.8     | 31.1  | 177.9     | 18.9  | 111.0     | 25.9  | 119.1     | 30.0  | 218.7     | 19.0  |
| 109.7    | 19.3  | 91.2     | 18.0  | 79.1     | 29.9  | 183.3     | 18.0  | 114.3     | 25.1  | 122.5     | 29.5  | 227.0     | 17.9  |
| 112.7    | 18.6  | 95.2     | 17.0  | 82.6     | 29.1  | 188.7     | 17.1  | 117.6     | 24.3  | 126.5     | 29.0  | 234.9     | 16.8  |
| 115.9    | 17.9  | 99.4     | 16.0  | 87.1     | 28.1  | 194.1     | 16.2  | 120.9     | 23.5  | 129.4     | 28.5  | 240.6     | 16.0  |
| 118.8    | 17.3  | 103.9    | 15.0  | 91.0     | 27.2  | 199.6     | 15.3  | 124.3     | 22.7  | 132.8     | 28.0  | 273.8     | 14.7  |
| 122.0    | 16.7  | 108.8    | 14.0  | 95.4     | 26.2  | 204.8     | 14.8  | 127.7     | 21.9  | 136.3     | 27.5  | 1426.0    | 11.3  |
| 126.8    | 15.8  | 114.5    | 13.0  | 102.0    | 24.7  | 209.8     | 14.6  | 131.1     | 21.1  | 139.6     | 27.0  | 2218.0    | 11.2  |
| 136.9    | 14.1  | 120.6    | 12.0  | 106.2    | 24.2  | 215.0     | 14.4  | 135.1     | 20.2  | 146.6     | 26.0  |           |       |
| 153.0    | 12.1  | 128.1    | 11.4  | 110.6    | 23.2  | 220.4     | 14.1  | 141.8     | 18.8  | 153.5     | 25.0  |           |       |
| 163.6    | 11.8  | 136.1    | 11.2  | 112.8    | 22.2  | 225.8     | 14.0  | 145.0     | 18.2  | 160.0     | 24.0  |           |       |
| 1185.0   | 8.4   | 144.4    | 11.0  | 117.6    | 21.1  | 285.6     | 13.0  | 151.6     | 17.1  | 173.5     | 22.0  |           |       |
|          |       | 240.3    | 9.6   | 120.7    | 20.4  | 379.5     | 12.4  | 158.2     | 16.1  | 187.5     | 20.0  |           |       |
|          |       |          |       | 127.1    | 19.0  | 1047.0    | 11.0  | 151.6     | 17.1  | 202.1     | 18.0  |           |       |
|          |       |          |       | 143.5    | 16.0  |           |       | 165.1     | 15.1  | 187.5     | 20.0  |           |       |
|          |       |          |       | 165.1    | 13.0  |           |       | 172.0     | 14.1  | 220.3     | 16.0  |           |       |
|          |       |          |       | 302.1    | 9.9   |           |       | 182.5     | 13.2  | 239.7     | 14.0  |           |       |
|          |       |          |       | 6849.0   | 8.0   |           |       | 242.9     | 12.0  | 302.4     | 12.0  |           |       |
|          |       |          |       |          |       |           |       | 273.6     | 11.7  | 2932.0    | 9.2   |           |       |

Tabla N° 46

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio

micronizado FM-1000 (140.2 – 198.9 g/l).

| 140.2 g/l |       | 145.4 g/l |       | 160.3 g/l |       | 165.4 g/l |       | 1801.9 g/l |       | 185.5 g/l |       | 198.9 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t (min)   | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t (min)    | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 50.6  | 0.0       | 47.1  | 0.0       | 50.9  | 0.0       | 54.5  | 0.0        | 46.5  | 0.0       | 48.6  | 0.0       | 47.0  |
| 5.4       | 50.2  | 6.1       | 46.6  | 8.6       | 50.2  | 7.1       | 53.9  | 8.5        | 45.9  | 6.0       | 48.3  | 5.6       | 46.8  |
| 10.6      | 49.5  | 12.1      | 45.9  | 17.4      | 49.3  | 14.1      | 53.2  | 16.6       | 45.1  | 12.1      | 47.7  | 10.6      | 46.5  |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15.8 | 48.8 | 18.6 | 45.1 | 26.7 | 48.4 | 21.1 | 52.5 | 24.5 | 44.3 | 18.4 | 47.0 | 15.6 | 46.1 |
| 21.1 | 48.1 | 25.3 | 44.3 | 34.9 | 47.6 | 28.2 | 51.8 | 32.9 | 43.5 | 24.6 | 46.4 | 20.7 | 45.7 |
| 26.6 | 47.4 | 31.4 | 43.7 | 43.2 | 46.9 | 35.8 | 51.1 | 40.7 | 42.8 | 30.6 | 45.8 | 25.5 | 45.4 |

Tabla N° 46 (*Continuación*)

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio  
micronizado FM-1000 (140.2 – 198.9 g/l).

| 140.2 g/l |       | 145.4 g/l |       | 160.3 g/l |       | 165.4 g/l |       | 1801.9 g/l |       | 185.5 g/l |       | 198.9 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t (min)   | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t (min)    | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 32.2      | 46.7  | 38.3      | 43.1  | 52.2      | 46.2  | 43.3      | 50.5  | 49.1       | 42.0  | 36.6      | 45.3  | 30.6      | 45.0  |
| 37.7      | 46.0  | 44.8      | 42.5  | 60.6      | 45.5  | 50.3      | 49.9  | 57.1       | 41.3  | 42.7      | 44.9  | 35.6      | 44.6  |
| 42.7      | 45.4  | 50.9      | 41.9  | 68.9      | 44.8  | 57.1      | 49.3  | 64.9       | 40.8  | 49.1      | 44.5  | 40.6      | 44.2  |
| 47.9      | 44.8  | 57.5      | 41.3  | 77.8      | 44.1  | 64.8      | 48.7  | 72.7       | 40.4  | 55.9      | 43.9  | 45.5      | 43.9  |
| 53.0      | 44.2  | 63.7      | 40.7  | 86.3      | 43.4  | 71.9      | 48.2  | 81.7       | 40.0  | 61.9      | 43.4  | 50.5      | 43.5  |
| 58.8      | 43.6  | 69.8      | 40.1  | 94.5      | 42.7  | 79.0      | 47.6  | 91.4       | 39.3  | 68.6      | 42.9  | 55.6      | 43.2  |
| 64.1      | 43.1  | 75.7      | 39.5  | 102.6     | 42.0  | 90.7      | 46.6  | 100.9      | 38.7  | 75.6      | 42.4  | 60.8      | 43.0  |
| 69.6      | 42.5  | 82.7      | 38.8  | 110.8     | 41.3  | 99.8      | 45.9  | 109.0      | 38.3  | 81.6      | 42.0  | 65.9      | 42.6  |
| 74.9      | 41.9  | 88.9      | 38.2  | 119.2     | 40.6  | 106.8     | 45.3  | 117.9      | 37.7  | 87.7      | 41.5  | 70.6      | 42.4  |
| 80.3      | 41.3  | 94.9      | 37.6  | 127.9     | 39.9  | 114.5     | 44.7  | 126.4      | 37.2  | 94.0      | 41.0  | 76.5      | 42.0  |
| 85.6      | 40.7  | 101.0     | 37.0  | 136.3     | 39.2  | 121.5     | 44.1  | 139.0      | 36.5  | 100.0     | 40.5  | 83.1      | 41.6  |
| 91.3      | 40.1  | 107.1     | 36.4  | 144.7     | 38.5  | 129.2     | 43.4  | 149.1      | 35.8  | 106.5     | 39.9  | 88.2      | 41.3  |
| 96.6      | 39.5  | 113.4     | 35.7  | 153.3     | 37.8  | 136.2     | 42.8  | 160.6      | 35.0  | 113.3     | 39.3  | 94.2      | 40.9  |
| 102.1     | 38.9  | 119.5     | 35.0  | 161.3     | 37.1  | 143.3     | 42.2  | 171.0      | 34.3  | 119.4     | 38.8  | 100.2     | 40.5  |
| 107.3     | 38.3  | 125.9     | 34.4  | 171.4     | 36.2  | 150.4     | 41.6  | 180.2      | 33.7  | 128.9     | 37.9  | 106.6     | 40.1  |
| 112.8     | 37.7  | 132.2     | 33.7  | 179.6     | 35.5  | 157.6     | 40.9  | 192.0      | 32.9  | 140.0     | 37.0  | 112.8     | 39.7  |
| 118.1     | 37.1  | 140.7     | 32.8  | 187.9     | 34.8  | 164.9     | 40.2  | 201.8      | 32.2  | 148.6     | 36.3  | 119.0     | 39.3  |
| 123.9     | 36.5  | 146.6     | 32.1  | 196.4     | 34.0  | 171.9     | 39.6  | 211.5      | 31.5  | 157.9     | 35.5  | 124.8     | 38.9  |
| 129.2     | 35.9  | 153.2     | 31.4  | 205.0     | 33.2  | 179.0     | 38.9  | 230.9      | 29.9  | 167.0     | 34.7  | 130.8     | 38.5  |
| 135.3     | 35.2  | 159.4     | 30.8  | 213.5     | 32.4  | 186.2     | 38.2  | 241.5      | 28.9  | 176.7     | 33.8  | 136.7     | 38.1  |
| 142.2     | 34.4  | 165.9     | 30.0  | 221.7     | 31.6  | 193.4     | 37.5  | 254.1      | 27.8  | 185.2     | 33.0  | 142.6     | 37.7  |
| 147.3     | 33.8  | 172.2     | 29.3  | 230.3     | 30.7  | 200.9     | 36.7  | 264.9      | 26.7  | 194.2     | 32.1  | 148.3     | 37.3  |
| 152.4     | 33.2  | 178.6     | 28.5  | 239.3     | 29.8  | 209.5     | 35.9  | 274.4      | 25.7  | 203.4     | 31.1  | 155.1     | 36.8  |
| 157.6     | 32.6  | 184.7     | 27.8  | 247.9     | 28.9  | 216.8     | 35.1  | 284.2      | 24.6  | 213.1     | 30.0  | 160.8     | 36.4  |
| 163.4     | 32.0  | 190.7     | 27.0  | 256.8     | 28.0  | 225.3     | 34.2  | 294.1      | 23.4  | 222.7     | 29.0  | 166.2     | 36.0  |
| 169.7     | 31.3  | 196.9     | 26.2  | 264.7     | 27.2  | 233.7     | 33.2  | 304.8      | 22.0  | 232.3     | 27.8  | 172.0     | 35.5  |
| 176.1     | 30.5  | 203.1     | 25.3  | 273.6     | 26.2  | 243.3     | 32.0  | 314.2      | 20.7  | 242.0     | 26.6  | 178.3     | 35.0  |
| 181.9     | 29.8  | 209.2     | 24.4  | 281.9     | 25.3  | 252.5     | 30.9  | 325.0      | 19.7  | 251.2     | 25.4  | 184.2     | 34.5  |
| 187.6     | 29.1  | 215.3     | 23.5  | 290.6     | 24.2  | 265.0     | 29.2  | 334.8      | 19.4  | 260.6     | 24.0  | 191.1     | 34.0  |
| 199.9     | 27.6  | 221.5     | 22.5  | 298.8     | 23.3  | 274.6     | 27.8  | 344.8      | 19.2  | 269.8     | 22.6  | 202.7     | 33.1  |
| 205.5     | 26.9  | 227.6     | 21.5  | 307.0     | 22.2  | 284.5     | 26.3  | 407.1      | 18.4  | 278.9     | 21.7  | 225.6     | 31.2  |
| 211.4     | 26.2  | 233.6     | 20.5  | 315.7     | 21.3  | 302.7     | 23.3  | 462.2      | 18.0  | 288.7     | 21.4  | 250.3     | 29.0  |
| 222.0     | 24.9  | 251.8     | 18.0  | 333.0     | 20.8  | 321.0     | 22.6  | 525.8      | 17.6  | 299.5     | 21.2  | 262.3     | 27.9  |
| 239.1     | 22.7  | 404.9     | 16.0  | 352.0     | 20.5  | 386.3     | 21.8  | 564.4      | 17.4  | 330.0     | 20.6  | 281.7     | 26.1  |
| 244.2     | 22.0  | 559.3     | 15.0  | 460.2     | 19.4  | 2883.0    | 17.6  | 1360.0     | 15.0  | 359.4     | 20.2  | 302.6     | 23.9  |

|        |      |        |      |  |        |      |        |      |       |      |
|--------|------|--------|------|--|--------|------|--------|------|-------|------|
| 255.2  | 20.4 | 1484.0 | 13.6 |  | 4272.0 | 14.3 | 480.1  | 19.0 | 317.8 | 22.1 |
| 312.7  | 17.8 |        |      |  | 7126.0 | 14.2 | 1555.0 | 14.1 | 364.7 | 20.1 |
| 2895.0 | 12.6 |        |      |  |        |      |        |      | 650.5 | 18.0 |

Tabla N° 47

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 (200.3 – 299.8 g/l).

| 200.3 g/l |       | 230.0 g/l |       | 236.6 g/l |       | 255.6 g/l |       | 299.8 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 46.7  | 0.0       | 47.2  | 0.0       | 46.9  | 0.0       | 43.4  | 0.0       | 48.2  |
| 10.9      | 46.1  | 12.1      | 46.8  | 7.8       | 46.7  | 5.3       | 43.3  | 24.3      | 48.0  |
| 21.2      | 45.3  | 24.3      | 46.2  | 13.8      | 46.6  | 10.1      | 43.2  | 45.3      | 47.5  |
| 31.3      | 44.5  | 37.8      | 45.2  | 20.5      | 46.3  | 15.5      | 43.0  | 74.4      | 47.0  |
| 41.4      | 43.8  | 50.5      | 44.5  | 28.0      | 46.0  | 20.3      | 42.8  | 90.1      | 46.5  |
| 51.4      | 43.3  | 62.7      | 43.9  | 34.2      | 45.6  | 25.9      | 42.5  | 107.7     | 46.0  |
| 62.0      | 42.5  | 75.5      | 43.3  | 38.2      | 45.3  | 30.5      | 42.2  | 122.3     | 45.5  |
| 73.3      | 41.9  | 87.7      | 42.8  | 41.6      | 45.0  | 35.2      | 41.8  | 137.0     | 45.0  |
| 83.2      | 41.4  | 99.8      | 42.1  | 46.4      | 44.7  | 40.0      | 41.5  | 150.2     | 44.5  |
| 93.5      | 40.9  | 112.2     | 41.3  | 51.4      | 44.4  | 44.2      | 41.2  | 167.2     | 44.0  |
| 105.0     | 40.2  | 124.2     | 40.7  | 57.1      | 44.1  | 49.3      | 40.9  | 181.8     | 43.5  |
| 116.1     | 39.6  | 136.3     | 40.0  | 62.5      | 43.8  | 55.2      | 40.6  | 199.6     | 43.0  |
| 126.2     | 39.0  | 148.5     | 39.3  | 69.1      | 43.5  | 62.6      | 40.3  | 219.8     | 42.5  |
| 136.1     | 38.4  | 165.9     | 38.2  | 75.7      | 43.2  | 69.2      | 40.0  | 247.1     | 42.0  |
| 146.1     | 37.8  | 177.5     | 37.4  | 80.8      | 42.9  | 76.3      | 39.7  | 271.5     | 41.5  |
| 157.5     | 37.1  | 189.6     | 36.7  | 85.8      | 42.6  | 82.8      | 39.3  | 296.3     | 41.0  |
| 170.1     | 36.3  | 201.4     | 35.8  | 95.4      | 42.1  | 89.7      | 38.9  | 330.0     | 40.5  |
| 180.9     | 35.5  | 215.0     | 34.7  | 102.9     | 41.7  | 95.1      | 38.6  | 364.1     | 40.0  |
| 191.0     | 34.7  | 233.9     | 33.1  | 108.1     | 41.4  | 100.1     | 38.3  | 413.1     | 39.4  |
| 200.7     | 33.9  | 245.2     | 32.1  | 115.1     | 41.0  | 105.5     | 38.0  | 442.9     | 39.0  |
| 210.8     | 33.1  | 260.4     | 30.6  | 119.8     | 40.7  | 124.3     | 37.0  | 478.1     | 38.5  |
| 221.1     | 32.2  | 278.7     | 28.7  | 129.4     | 40.1  | 138.8     | 36.1  | 516.0     | 38.0  |
| 231.2     | 31.4  | 292.1     | 27.1  | 133.8     | 39.8  | 157.4     | 34.9  | 553.4     | 37.5  |
| 242.0     | 30.4  | 305.0     | 25.4  | 147.7     | 38.9  | 171.7     | 33.9  | 592.7     | 36.9  |
| 251.8     | 29.5  | 318.2     | 24.1  | 162.7     | 37.9  | 185.8     | 32.9  | 620.6     | 36.5  |
| 262.7     | 28.5  | 330.3     | 23.7  | 174.7     | 37.1  | 195.8     | 32.1  | 631.6     | 36.3  |
| 272.6     | 27.5  | 342.1     | 23.4  | 188.6     | 36.2  | 208.2     | 31.1  | 1470.0    | 28.6  |
| 283.5     | 26.4  | 354.9     | 23.1  | 203.6     | 35.1  | 218.8     | 30.2  | 2894.0    | 26.5  |
| 294.1     | 25.2  | 366.8     | 22.9  | 218.3     | 34.0  | 229.2     | 29.3  |           |       |
| 305.1     | 23.9  | 398.9     | 22.5  | 231.3     | 32.9  | 240.2     | 28.3  |           |       |
| 315.7     | 22.5  | 1212.0    | 20.7  | 242.1     | 32.0  | 254.3     | 26.9  |           |       |
| 325.5     | 21.1  | 1784.0    | 20.5  | 254.4     | 30.9  | 265.4     | 25.7  |           |       |
| 335.4     | 20.6  | 4440.0    | 20.4  | 263.8     | 30.1  | 272.2     | 24.9  |           |       |
| 350.0     | 20.3  | 7170.0    | 20.4  | 276.4     | 28.8  | 288.4     | 24.1  |           |       |
| 2729.0    | 17.3  |           |       | 290.7     | 27.3  | 330.3     | 23.2  |           |       |
| 4078.0    | 17.2  |           |       | 306.9     | 25.4  | 471.2     | 21.9  |           |       |
| 7384.0    | 17.1  |           |       | 355.0     | 23.0  | 634.0     | 21.0  |           |       |
|           |       |           |       | 445.2     | 21.9  | 7181.0    | 17.3  |           |       |
|           |       |           |       | 521.8     | 21.4  |           |       |           |       |
|           |       |           |       | 10273     | 18.5  |           |       |           |       |

Tabla N° 48

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcioprecipitado El Nevado (49.9 – 86.4 g/l).

| 49,9 g/L |        | 59,9 g/L |        | 60,4 g/L |        | 70,0 g/L |        | 75,7 g/L |        | 86,4 g/L |        |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) |
| 0,0      | 48,7   | 0,0      | 48,7   | 0,0      | 48,9   | 0,0      | 41,7   | 0,0      | 48,7   | 0,0      | 48,7   |
| 0,7      | 48,0   | 0,7      | 48,0   | 0,7      | 48,0   | 0,9      | 41,0   | 1,0      | 48,0   | 1,5      | 48,0   |
| 1,4      | 47,0   | 1,3      | 47,0   | 1,5      | 47,0   | 1,5      | 40,5   | 2,1      | 47,0   | 3,0      | 47,0   |
| 1,9      | 46,0   | 2,0      | 46,0   | 2,4      | 46,0   | 2,4      | 39,5   | 3,4      | 45,9   | 4,5      | 46,0   |
| 2,4      | 45,0   | 2,7      | 45,0   | 3,2      | 45,0   | 3,0      | 39,0   | 5,5      | 44,0   | 6,0      | 45,0   |
| 3,0      | 44,0   | 3,4      | 44,0   | 4,0      | 44,0   | 4,0      | 38,0   | 6,7      | 43,0   | 7,5      | 44,0   |
| 3,6      | 43,0   | 4,2      | 42,8   | 4,8      | 43,0   | 5,0      | 37,0   | 7,9      | 42,0   | 9,0      | 43,0   |
| 4,2      | 42,0   | 5,1      | 41,5   | 5,6      | 42,0   | 6,0      | 36,0   | 9,1      | 40,9   | 9,8      | 42,5   |
| 4,8      | 41,0   | 6,2      | 40,0   | 6,4      | 41,0   | 7,1      | 35,0   | 10,2     | 40,0   | 12,2     | 41,0   |
| 6,0      | 39,0   | 6,9      | 39,0   | 7,3      | 40,0   | 8,2      | 34,0   | 11,5     | 38,9   | 13,8     | 40,0   |
| 6,6      | 38,0   | 7,6      | 38,0   | 8,1      | 39,0   | 9,2      | 33,0   | 14,2     | 36,8   | 15,4     | 39,0   |
| 7,5      | 36,5   | 8,5      | 36,9   | 9,0      | 38,0   | 10,3     | 32,0   | 15,2     | 36,0   | 17,1     | 38,0   |
| 7,8      | 36,0   | 9,3      | 35,8   | 9,8      | 37,0   | 11,4     | 31,0   | 17,7     | 34,0   | 18,8     | 37,0   |
| 8,1      | 35,5   | 9,9      | 35,0   | 10,7     | 36,0   | 12,5     | 30,0   | 19,1     | 32,9   | 21,4     | 35,5   |
| 8,4      | 35,0   | 10,7     | 34,0   | 11,5     | 35,0   | 13,7     | 29,0   | 20,4     | 32,0   | 22,3     | 35,0   |
| 9,0      | 34,0   | 11,5     | 33,0   | 12,4     | 34,0   | 14,8     | 28,0   | 21,7     | 31,0   | 24,1     | 34,0   |
| 9,6      | 33,0   | 12,3     | 32,0   | 13,3     | 33,0   | 15,9     | 27,0   | 23,1     | 30,0   | 26,0     | 33,0   |
| 10,2     | 32,0   | 13,1     | 31,0   | 14,1     | 32,0   | 17,2     | 26,0   | 24,7     | 28,8   | 27,9     | 32,0   |
| 11,2     | 30,5   | 13,9     | 30,0   | 14,9     | 31,0   | 18,3     | 25,0   | 26,2     | 28,0   | 29,9     | 31,0   |
| 11,8     | 29,5   | 14,8     | 29,0   | 18,6     | 29,0   | 19,5     | 24,0   | 27,8     | 27,0   | 32,0     | 30,0   |
| 12,5     | 28,5   | 15,7     | 28,0   | 19,8     | 25,7   | 20,8     | 23,0   | 32,3     | 24,6   | 34,2     | 29,0   |
| 12,8     | 28,0   | 16,7     | 26,9   | 21,5     | 24,0   | 22,2     | 22,0   | 33,6     | 24,0   | 36,7     | 28,0   |
| 13,4     | 27,0   | 17,6     | 25,9   | 22,4     | 23,0   | 23,6     | 21,0   | 36,2     | 23,0   | 39,2     | 27,0   |
| 14,1     | 26,0   | 18,7     | 24,9   | 23,5     | 22,0   | 25,0     | 20,0   | 39,3     | 22,0   | 42,1     | 26,0   |
| 15,1     | 24,5   | 19,8     | 23,9   | 24,6     | 21,0   | 26,7     | 19,0   | 42,8     | 21,0   | 46,1     | 24,8   |
| 15,8     | 23,5   | 20,9     | 22,9   | 25,8     | 20,0   | 28,7     | 18,0   | 47,0     | 20,0   | 49,1     | 24,0   |
| 16,1     | 23,0   | 22,2     | 21,9   | 27,3     | 19,0   | 31,3     | 17,0   | 59,2     | 17,7   | 53,2     | 23,0   |
| 16,8     | 22,0   | 23,6     | 21,0   | 29,2     | 18,0   | 34,5     | 16,0   | 70,5     | 15,9   | 57,1     | 22,0   |
| 17,5     | 21,0   | 26,0     | 20,0   | 31,8     | 17,0   | 39,2     | 14,9   | 85,2     | 13,9   | 62,7     | 21,0   |
| 18,6     | 19,5   | 31,0     | 18,0   | 33,2     | 16,6   | 43,9     | 14,0   | 105,4    | 11,7   | 72,1     | 19,4   |
| 19,8     | 18,0   | 34,8     | 17,0   | 35,4     | 16,0   | 49,6     | 13,0   | 126,8    | 9,8    | 74,7     | 19,0   |
| 21,2     | 16,6   | 39,2     | 16,0   | 42,4     | 14,5   | 56,4     | 12,0   | 146,0    | 8,6    | 80,7     | 18,0   |
| 22,8     | 15,5   | 44,4     | 15,0   | 45,1     | 14,0   | 64,7     | 10,9   | 155,7    | 8,3    | 87,8     | 17,0   |
| 24,2     | 14,5   | 53,4     | 13,5   | 51,3     | 13,0   | 71,9     | 10,0   | 166,3    | 8,0    | 95,3     | 16,0   |
| 26,5     | 14,0   | 46,6     | 13,0   | 60,2     | 11,7   | 93,0     | 8,0    | 186,9    | 7,5    | 103,4    | 15,0   |
| 30,2     | 13,0   | 71,9     | 11,0   | 66,6     | 10,8   | 106,9    | 7,0    | 244,3    | 6,9    | 112,9    | 14,0   |
| 32,3     | 12,5   | 81,0     | 10,0   | 73,4     | 10,0   | 127,0    | 6,0    | 272,5    | 6,7    | 119,5    | 13,4   |
| 37,9     | 11,4   | 90,5     | 9,2    | 77,2     | 9,6    | 157,3    | 5,5    | 298,4    | 6,6    | 142,6    | 11,3   |
| 40,2     | 11,0   | 98,1     | 8,5    | 89,0     | 8,4    | 204,5    | 5,0    | 327,2    | 6,3    | 176,0    | 9,2    |
| 52,3     | 9,0    | 109,3    | 7,6    | 123,0    | 6,6    | 262,1    | 4,9    | 427,5    | 6,3    | 284,4    | 7,5    |
| 59,7     | 8,0    | 129,3    | 6,8    | 231,1    | 5,3    | 1600,0   | 4,4    | 442,5    | 6,2    | 1600,0   | 6,7    |
| 89,2     | 6,0    | 166,8    | 6,1    | 1600,0   | 4,9    |          |        | 468,9    | 6,2    |          |        |
| 126,4    | 5,1    | 241,3    | 5,5    |          |        |          |        | 509,6    | 6,1    |          |        |
| 400,2    | 4,0    | 272,0    | 5,4    |          |        |          |        | 576,4    | 6,1    |          |        |
| 1600,0   | 4,0    | 1600,0   | 5,0    |          |        |          |        | 1600,0   | 6,1    |          |        |

Tabla N° 49

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio

precipitado El Nevado (90.0 – 130.0 g/l).

| 90,0 g/L |        | 97,1 g/L |        | 100,5 g/L |        | 106,8 g/L |        | 120,0 g/L |        | 130,0 g/L |        |
|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (min)  | H (cm) | t (min)  | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) |
| 0,0      | 46,0   | 0,0      | 48,7   | 0,0       | 48,7   | 0,0       | 48,8   | 44,9      | 0,0    | 45,0      | 0,0    |
| 0,2      | 45,9   | 1,6      | 47,9   | 2,4       | 47,6   | 2,0       | 48,0   | 44,5      | 1,3    | 44,5      | 1,6    |
| 1,6      | 45,0   | 2,4      | 47,5   | 3,5       | 47,0   | 4,4       | 47,0   | 44,0      | 2,7    | 43,5      | 5,2    |
| 3,2      | 44,0   | 3,4      | 47,0   | 5,5       | 46,0   | 7,2       | 45,9   | 42,7      | 6,4    | 43,0      | 7,1    |
| 5,2      | 43,2   | 4,4      | 46,5   | 7,7       | 44,9   | 10,0      | 44,9   | 42,0      | 8,6    | 42,0      | 11,2   |
| 6,6      | 42,0   | 5,3      | 46,0   | 9,6       | 44,0   | 13,0      | 43,9   | 41,0      | 11,9   | 41,0      | 15,6   |
| 8,3      | 41,0   | 9,8      | 44,0   | 11,8      | 43,0   | 15,7      | 43,0   | 40,0      | 15,4   | 40,0      | 20,1   |
| 10,2     | 40,0   | 12,5     | 42,9   | 14,1      | 42,0   | 19,1      | 42,0   | 39,0      | 19,1   | 39,0      | 24,9   |
| 11,9     | 39,0   | 15,3     | 41,9   | 16,3      | 41,0   | 22,5      | 41,0   | 38,0      | 22,8   | 38,0      | 29,9   |
| 13,7     | 38,0   | 17,3     | 41,0   | 18,6      | 40,0   | 26,1      | 40,0   | 37,0      | 26,8   | 37,0      | 35,0   |
| 15,6     | 37,0   | 18,6     | 40,5   | 21,0      | 39,0   | 29,8      | 39,0   | 36,0      | 30,8   | 36,0      | 40,3   |
| 17,6     | 36,0   | 24,7     | 38,4   | 23,5      | 38,0   | 33,7      | 38,0   | 35,0      | 35,0   | 34,0      | 51,3   |
| 19,6     | 35,0   | 27,7     | 37,4   | 26,0      | 37,0   | 42,6      | 35,8   | 34,0      | 39,4   | 33,0      | 56,7   |
| 21,6     | 34,0   | 30,5     | 36,5   | 28,5      | 36,0   | 45,9      | 35,0   | 33,0      | 43,9   | 32,0      | 62,6   |
| 23,6     | 33,0   | 32,2     | 36,0   | 31,5      | 34,9   | 50,3      | 34,0   | 32,0      | 48,7   | 31,0      | 68,5   |
| 25,8     | 32,0   | 35,6     | 34,9   | 34,0      | 34,0   | 55,0      | 33,0   | 31,0      | 53,5   | 30,0      | 74,4   |
| 28,0     | 31,0   | 38,6     | 34,0   | 36,8      | 33,0   | 64,9      | 31,0   | 30,0      | 58,7   | 29,0      | 80,6   |
| 30,3     | 30,0   | 42,1     | 33,0   | 39,8      | 32,0   | 70,5      | 30,0   | 29,0      | 64,1   | 28,0      | 87,1   |
| 32,8     | 29,0   | 45,7     | 32,0   | 43,2      | 30,9   | 83,1      | 27,9   | 28,0      | 69,7   | 27,0      | 94,0   |
| 35,5     | 28,0   | 50,6     | 30,8   | 46,0      | 30,0   | 89,0      | 27,0   | 27,0      | 75,9   | 26,0      | 101,1  |
| 38,3     | 27,0   | 54,4     | 29,9   | 50,5      | 28,7   | 101,7     | 25,2   | 26,0      | 82,3   | 25,0      | 108,6  |
| 41,3     | 26,0   | 56,3     | 29,5   | 53,0      | 28,0   | 109,2     | 24,2   | 25,0      | 89,0   | 24,0      | 116,3  |
| 44,7     | 25,0   | 59,1     | 28,9   | 57,0      | 27,0   | 120,4     | 22,8   | 24,0      | 96,0   | 23,0      | 124,5  |
| 48,5     | 24,0   | 64,2     | 27,9   | 61,3      | 26,0   | 141,1     | 20,5   | 23,0      | 103,6  | 21,8      | 135,9  |
| 52,7     | 23,0   | 71,5     | 26,6   | 66,0      | 25,0   | 159,8     | 18,7   | 22,0      | 111,8  | 21,0      | 142,7  |
| 57,4     | 22,0   | 77,0     | 25,7   | 76,9      | 22,9   | 167,1     | 18,0   | 21,0      | 120,1  | 19,5      | 157,5  |
| 62,7     | 21,0   | 87,8     | 24,0   | 88,6      | 20,9   | 178,9     | 17,0   | 20,0      | 128,9  | 19,0      | 162,8  |
| 68,6     | 20,0   | 94,9     | 23,0   | 103,9     | 18,6   | 192,1     | 15,9   | 19,0      | 138,7  | 18,0      | 174,2  |
| 74,8     | 19,0   | 104,9    | 21,6   | 123,7     | 16,2   | 213,0     | 14,3   | 18,0      | 149,2  | 17,0      | 186,4  |
| 81,3     | 18,0   | 109,7    | 21,0   | 144,8     | 14,1   | 215,8     | 14,0   | 17,0      | 160,5  | 16,0      | 199,4  |
| 88,2     | 17,0   | 116,6    | 20,2   | 165,0     | 12,3   | 235,1     | 13,0   | 16,0      | 172,8  | 14,7      | 215,9  |
| 95,8     | 16,0   | 133,7    | 18,3   | 173,3     | 11,6   | 252,3     | 11,6   | 15,0      | 184,9  | 14,0      | 225,5  |
| 104,0    | 15,0   | 139,5    | 17,7   | 184,5     | 11,1   | 262,4     | 11,0   | 14,0      | 197,9  | 12,8      | 242,4  |
| 113,1    | 14,0   | 164,3    | 15,5   | 204,1     | 10,6   | 277,6     | 10,5   | 13,0      | 211,8  | 12,0      | 254,7  |
| 123,3    | 13,0   | 174,0    | 14,7   | 262,5     | 9,6    | 283,0     | 10,4   | 12,0      | 225,8  | 11,0      | 268,8  |
| 134,3    | 12,0   | 195,0    | 13,0   | 290,2     | 9,3    | 1600,0    | 8,6    | 11,0      | 240,7  | 10,5      | 283,7  |
| 146,1    | 11,0   | 203,6    | 12,4   | 316,8     | 9,1    |           |        | 10,0      | 265,2  | 10,0      | 309,1  |
| 158,5    | 10,0   | 208,6    | 12,0   | 326,0     | 9,0    |           |        | 9,8       | 283,9  | 9,6       | 377,7  |
| 178,9    | 9,0    | 223,3    | 11,0   | 404,8     | 8,5    |           |        | 9,4       | 314,8  | 9,4       | 467,1  |
| 216,0    | 8,0    | 241,5    | 10,1   | 445,2     | 8,4    |           |        | 8,4       | 1000,0 | 8,9       | 1600,0 |
| 281,0    | 7,5    | 261,0    | 9,6    | 460,3     | 8,3    |           |        |           |        |           |        |
| 341,0    | 7,2    | 272,7    | 9,4    | 486,5     | 8,2    |           |        |           |        |           |        |
| 401,4    | 7,0    | 294,6    | 9,2    | 527,4     | 8,1    |           |        |           |        |           |        |
| 462,2    | 6,9    | 309,6    | 9,1    | 594,7     | 8,0    |           |        |           |        |           |        |
|          |        | 398,3    | 8,7    | 735,3     | 7,8    |           |        |           |        |           |        |
|          |        | 1600,0   | 8,0    | 1600,0    | 7,5    |           |        |           |        |           |        |



Tabla N° 50

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcioprecipitado El Nevado (142.1 – 210.0 g/l).

| 142,1 g/L |        | 160,0 g/L |        | 180,0 g/L |        | 180,0 g/L |        | 187,9 g/L |        | 210,0 g/L |        |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) |
| 0,0       | 48,7   | 41,9      | 0,0    | 44,4      | 0,0    | 44,4      | 0,0    | 0,0       | 49,0   | 0,0       | 48,7   |
| 3,9       | 48,0   | 41,5      | 1,9    | 44,0      | 3,1    | 44,0      | 3,2    | 2,6       | 48,5   | 5,8       | 48,0   |
| 8,2       | 47,0   | 41,0      | 4,4    | 43,5      | 6,0    | 43,5      | 6,5    | 12,3      | 47,5   | 16,0      | 47,0   |
| 13,2      | 46,0   | 40,0      | 9,9    | 43,0      | 8,9    | 43,0      | 9,5    | 22,4      | 46,4   | 30,1      | 45,8   |
| 21,4      | 44,4   | 39,0      | 16,1   | 42,0      | 15,3   | 42,0      | 16,4   | 30,3      | 45,6   | 35,1      | 45,4   |
| 23,9      | 44,0   | 38,0      | 22,8   | 41,0      | 22,6   | 41,0      | 23,8   | 40,2      | 44,6   | 39,7      | 45,0   |
| 30,0      | 43,0   | 37,0      | 30,0   | 40,0      | 29,8   | 40,0      | 31,7   | 56,6      | 43,1   | 46,9      | 44,5   |
| 37,4      | 41,8   | 36,0      | 37,4   | 39,0      | 37,9   | 39,0      | 40,4   | 68,8      | 42,0   | 52,9      | 44,0   |
| 44,1      | 40,8   | 34,5      | 49,3   | 38,0      | 46,7   | 38,0      | 48,8   | 85,2      | 40,6   | 67,6      | 43,0   |
| 51,5      | 39,7   | 34,0      | 53,3   | 37,0      | 56,1   | 37,7      | 52,2   | 121,1     | 37,7   | 82,9      | 42,0   |
| 54,2      | 39,0   | 33,0      | 61,7   | 36,0      | 65,5   | 37,0      | 58,9   | 128,2     | 37,1   | 91,0      | 41,5   |
| 74,1      | 36,6   | 32,0      | 70,2   | 35,0      | 75,4   | 36,0      | 68,5   | 140,3     | 36,6   | 98,9      | 41,0   |
| 91,0      | 34,4   | 31,0      | 78,8   | 34,0      | 85,7   | 35,0      | 78,6   | 141,0     | 36,1   | 106,2     | 40,5   |
| 96,2      | 33,7   | 30,0      | 87,5   | 33,0      | 95,9   | 34,0      | 88,7   | 147,4     | 35,6   | 121,1     | 39,6   |
| 121,5     | 30,5   | 29,0      | 96,2   | 31,8      | 108,6  | 33,0      | 99,2   | 157,9     | 34,8   | 139,6     | 38,5   |
| 130,6     | 29,4   | 28,0      | 105,0  | 31,0      | 117,2  | 32,0      | 109,8  | 171,8     | 33,7   | 150,5     | 37,9   |
| 143,0     | 27,9   | 27,0      | 114,2  | 30,0      | 128,3  | 31,0      | 120,6  | 189,1     | 32,4   | 168,8     | 36,8   |
| 150,7     | 27,0   | 26,0      | 123,2  | 29,0      | 138,9  | 30,0      | 131,5  | 204,1     | 31,3   | 174,3     | 36,5   |
| 155,2     | 26,5   | 24,8      | 134,5  | 28,0      | 150,3  | 29,0      | 142,3  | 224,8     | 29,8   | 199,0     | 35,1   |
| 158,0     | 26,2   | 24,0      | 142,0  | 27,0      | 161,3  | 27,5      | 158,9  | 248,8     | 28,1   | 222,2     | 33,9   |
| 160,2     | 26,0   | 22,5      | 156,5  | 25,9      | 173,5  | 27,0      | 163,9  | 278,0     | 26,1   | 230,1     | 33,5   |
| 164,3     | 25,5   | 22,0      | 161,7  | 25,0      | 184,1  | 26,0      | 175,3  | 294,0     | 25,0   | 238,5     | 33,0   |
| 168,9     | 25,0   | 21,0      | 171,9  | 24,0      | 195,0  | 25,0      | 186,3  | 311,9     | 23,8   | 247,0     | 32,5   |
| 178,8     | 24,0   | 20,0      | 182,8  | 23,0      | 206,6  | 23,7      | 201,1  | 325,0     | 22,9   | 255,3     | 32,0   |
| 198,8     | 22,0   | 19,0      | 194,3  | 22,0      | 218,6  | 23,0      | 209,9  | 352,0     | 21,5   | 276,4     | 30,8   |
| 231,3     | 19,1   | 18,0      | 206,7  | 21,0      | 230,7  | 22,0      | 221,0  | 360,9     | 20,5   | 308,2     | 29,0   |
| 251,7     | 17,5   | 17,0      | 218,9  | 20,0      | 244,0  | 20,7      | 236,9  | 368,4     | 20,0   | 330,0     | 27,8   |
| 267,2     | 16,3   | 15,9      | 233,6  | 19,0      | 257,6  | 20,0      | 245,3  | 384,6     | 18,9   | 344,1     | 27,0   |
| 355,5     | 12,5   | 14,7      | 250,0  | 18,0      | 271,0  | 19,0      | 258,0  | 398,2     | 18,0   | 433,6     | 22,0   |
| 394,5     | 12,0   | 13,9      | 262,3  | 17,0      | 284,9  | 18,0      | 271,5  | 411,7     | 17,1   | 471,3     | 19,8   |
| 530,4     | 11,3   | 12,5      | 281,7  | 16,0      | 298,4  | 17,0      | 285,1  | 433,6     | 15,8   | 542,5     | 17,5   |
| 1600,0    | 10,3   | 12,0      | 297,2  | 14,9      | 315,5  | 15,9      | 300,8  | 459,5     | 15,2   | 615,8     | 16,2   |
|           |        | 11,5      | 322,1  | 11,3      | 1000,0 | 15,0      | 312,7  | 513,9     | 14,6   | 700,0     | 15,0   |
|           |        | 11,0      | 376,2  |           |        | 14,0      | 337,0  | 656,1     | 14,0   | 1600,0    | 14,2   |
|           |        | 10,0      | 465,1  |           |        | 13,3      | 379,7  | 708,7     | 12,9   |           |        |
|           |        | 10,0      | 1600,0 |           |        | 12,7      | 468,3  | 2876,5    | 12,8   |           |        |
|           |        |           |        |           |        | 11,3      | 1600,0 |           |        |           |        |

Tabla N° 51

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo (49.9 – 120.1 g/l).

| 49.9 g/l |       | 70.2 g/l |       | 80.1 g/l |       | 80.1 g/l |       | 99.9 g/l |       | 120.1 g/l |       |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0      | 44.6  | 0.0      | 45.0  | 0.0      | 52.0  | 0.0      | 52.0  | 0.0      | 45.5  | 0.0       | 52.7  |
| 0.4      | 44.0  | 0.8      | 44.0  | 0.8      | 51.0  | 0.8      | 51.0  | 0.6      | 45.0  | 1.0       | 52.0  |
| 0.8      | 43.0  | 1.4      | 43.0  | 1.4      | 50.0  | 1.5      | 50.0  | 1.6      | 44.0  | 2.4       | 51.0  |
| 1.1      | 42.0  | 2.0      | 42.0  | 2.1      | 49.0  | 2.2      | 49.0  | 2.7      | 43.0  | 3.9       | 50.0  |
| 1.5      | 41.0  | 2.6      | 41.0  | 2.7      | 48.0  | 2.9      | 48.0  | 3.8      | 42.0  | 5.5       | 49.0  |
| 1.9      | 40.0  | 3.3      | 40.0  | 3.4      | 47.0  | 3.6      | 47.0  | 4.9      | 41.0  | 7.1       | 48.0  |
| 2.3      | 39.0  | 3.9      | 39.0  | 4.1      | 46.0  | 4.3      | 46.0  | 6.0      | 40.0  | 8.7       | 47.0  |
| 2.7      | 38.0  | 4.5      | 38.0  | 4.8      | 45.0  | 5.1      | 45.0  | 7.1      | 39.0  | 10.4      | 46.0  |
| 3.1      | 37.0  | 5.1      | 37.0  | 5.5      | 44.0  | 5.8      | 44.0  | 8.3      | 38.0  | 12.2      | 45.0  |
| 3.5      | 36.0  | 5.8      | 36.0  | 6.2      | 43.0  | 6.6      | 43.0  | 9.5      | 37.0  | 14.0      | 44.0  |
| 3.9      | 35.0  | 6.5      | 35.0  | 6.9      | 42.0  | 7.4      | 42.0  | 10.7     | 36.0  | 15.9      | 43.0  |
| 4.4      | 34.0  | 7.2      | 34.0  | 7.6      | 41.0  | 8.2      | 41.0  | 12.0     | 35.0  | 17.9      | 42.0  |
| 4.8      | 33.0  | 7.8      | 33.0  | 8.3      | 40.0  | 9.0      | 40.0  | 13.2     | 34.0  | 20.2      | 40.9  |
| 5.2      | 32.0  | 8.5      | 32.0  | 9.1      | 38.9  | 9.8      | 39.0  | 14.5     | 33.0  | 22.1      | 40.0  |
| 5.7      | 31.0  | 9.2      | 31.0  | 9.8      | 38.0  | 10.6     | 38.0  | 15.9     | 32.0  | 24.3      | 39.0  |
| 6.1      | 30.0  | 9.9      | 30.0  | 10.6     | 37.0  | 11.4     | 37.0  | 17.3     | 31.0  | 26.7      | 38.0  |
| 6.6      | 29.0  | 10.6     | 29.0  | 11.4     | 36.0  | 12.3     | 36.0  | 18.7     | 30.0  | 29.2      | 37.0  |
| 7.0      | 28.0  | 11.3     | 28.0  | 12.1     | 35.0  | 13.1     | 35.0  | 20.2     | 29.0  | 31.7      | 36.0  |
| 7.4      | 27.0  | 12.0     | 27.0  | 13.0     | 34.0  | 14.0     | 34.0  | 21.8     | 28.0  | 34.5      | 35.0  |
| 7.9      | 26.0  | 12.7     | 26.0  | 13.8     | 33.0  | 14.9     | 33.0  | 23.5     | 27.0  | 37.3      | 34.0  |
| 8.4      | 25.0  | 13.5     | 25.0  | 14.6     | 32.0  | 15.7     | 32.0  | 25.3     | 26.0  | 40.4      | 33.0  |
| 8.8      | 24.0  | 14.2     | 24.0  | 15.5     | 31.0  | 16.7     | 31.0  | 27.3     | 25.0  | 43.6      | 32.0  |
| 9.3      | 23.0  | 15.0     | 23.0  | 16.4     | 30.0  | 17.6     | 30.0  | 29.6     | 24.0  | 47.1      | 31.0  |
| 9.7      | 22.0  | 15.8     | 22.0  | 17.3     | 29.0  | 18.6     | 29.0  | 32.2     | 23.0  | 51.1      | 29.9  |
| 10.2     | 21.0  | 16.5     | 21.0  | 18.3     | 28.0  | 19.6     | 28.0  | 35.2     | 22.0  | 54.8      | 29.0  |
| 10.7     | 20.0  | 17.4     | 20.0  | 19.3     | 27.0  | 20.6     | 27.0  | 38.6     | 21.0  | 59.0      | 28.0  |
| 11.2     | 19.0  | 18.3     | 19.0  | 20.3     | 26.0  | 21.6     | 26.0  | 42.5     | 20.0  | 63.7      | 27.0  |
| 11.6     | 18.0  | 19.3     | 18.0  | 21.5     | 25.0  | 22.8     | 25.0  | 46.7     | 19.0  | 68.6      | 26.0  |
| 12.1     | 17.0  | 20.5     | 17.0  | 22.8     | 24.0  | 24.0     | 24.0  | 53.3     | 17.6  | 73.7      | 25.0  |
| 12.6     | 16.0  | 22.2     | 16.0  | 24.3     | 23.0  | 25.5     | 23.0  | 56.3     | 17.0  | 79.1      | 24.0  |
| 13.1     | 15.0  | 24.6     | 15.0  | 26.1     | 22.0  | 27.3     | 22.0  | 61.7     | 16.0  | 85.0      | 23.0  |
| 13.7     | 14.0  | 27.8     | 14.0  | 28.3     | 21.0  | 32.3     | 20.0  | 67.3     | 15.0  | 91.1      | 22.0  |
| 14.9     | 12.0  | 31.8     | 13.0  | 31.0     | 20.0  | 39.7     | 18.0  | 73.4     | 14.0  | 104.2     | 20.0  |
| 19.1     | 10.0  | 36.8     | 12.0  | 38.0     | 18.0  | 49.0     | 16.0  | 80.1     | 13.0  | 118.8     | 18.0  |
| 26.9     | 8.0   | 41.2     | 11.0  | 47.0     | 16.0  | 60.1     | 14.0  | 87.4     | 12.0  | 135.4     | 16.0  |
| 19.1     | 10.0  | 46.9     | 10.0  | 57.5     | 14.0  | 73.3     | 12.0  | 104.7    | 10.0  | 154.2     | 14.0  |
| 37.9     | 6.0   | 60.1     | 8.0   | 70.1     | 12.0  | 89.6     | 10.0  | 133.8    | 8.0   | 175.5     | 12.0  |
| 92.2     | 4.0   | 69.9     | 6.9   | 86.4     | 9.9   | 99.6     | 9.0   | 195.6    | 6.8   | 216.0     | 9.9   |
| 209.3    | 3.5   | 294.6    | 4.5   | 229.1    | 6.0   |          |       |          |       | 1418.0    | 8.4   |

Tabla N° 52

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo (120.1 – 169.8 g/l).

| 120.1 g/l |        | 146.4 g/l |        | 169.8 g/l |        |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (min.)  | H (cm) | t (min.)  | H (cm) | t (min.)  | H (cm) |
| 0.0       | 52.7   | 0.0       | 46.3   | 0.0       | 53.6   |
| 1.0       | 52.0   | 0.7       | 46.0   | 2.2       | 53.0   |
| 2.5       | 51.0   | 3.3       | 45.0   | 6.1       | 52.0   |
| 4.0       | 50.0   | 6.0       | 44.0   | 10.6      | 51.0   |
| 5.6       | 49.0   | 9.0       | 43.0   | 15.7      | 50.0   |
| 7.2       | 48.0   | 12.3      | 42.0   | 20.9      | 49.0   |
| 8.8       | 47.0   | 15.8      | 41.0   | 26.4      | 48.0   |
| 10.5      | 46.0   | 19.4      | 40.0   | 32.1      | 47.0   |
| 12.3      | 45.0   | 23.1      | 39.0   | 37.8      | 46.0   |
| 14.1      | 44.0   | 26.9      | 38.0   | 43.6      | 45.0   |
| 16.0      | 43.0   | 30.8      | 37.0   | 49.5      | 44.0   |
| 18.0      | 42.0   | 34.8      | 36.0   | 55.4      | 43.0   |
| 20.1      | 41.0   | 39.0      | 35.0   | 61.6      | 42.0   |
| 22.2      | 40.0   | 43.2      | 34.0   | 67.9      | 41.0   |
| 24.5      | 39.0   | 47.5      | 33.0   | 74.3      | 40.0   |
| 26.8      | 38.0   | 52.0      | 32.0   | 80.6      | 39.0   |
| 29.3      | 37.0   | 56.5      | 31.0   | 87.3      | 38.0   |
| 31.9      | 36.0   | 61.2      | 30.0   | 94.0      | 37.0   |
| 34.6      | 35.0   | 66.1      | 29.0   | 100.9     | 36.0   |
| 37.5      | 34.0   | 71.1      | 28.0   | 108.0     | 35.0   |
| 40.5      | 33.0   | 76.5      | 27.0   | 118.7     | 33.5   |
| 43.8      | 32.0   | 82.5      | 25.9   | 122.5     | 33.0   |
| 47.3      | 31.0   | 87.8      | 25.0   | 130.2     | 32.0   |
| 51.0      | 30.0   | 93.8      | 24.0   | 137.9     | 31.0   |
| 54.9      | 29.0   | 100.0     | 23.0   | 145.7     | 30.0   |
| 59.2      | 28.0   | 106.4     | 22.0   | 153.6     | 29.0   |
| 63.7      | 27.0   | 113.2     | 21.0   | 161.7     | 28.0   |
| 68.5      | 26.0   | 120.3     | 20.0   | 170.7     | 26.9   |
| 73.5      | 25.0   | 127.7     | 19.0   | 179.1     | 25.9   |
| 79.0      | 24.0   | 135.6     | 18.0   | 187.7     | 24.9   |
| 84.7      | 23.0   | 145.5     | 16.8   | 196.1     | 24.0   |
| 90.7      | 22.0   | 157.0     | 15.5   | 205.5     | 23.0   |
| 96.8      | 21.0   | 161.8     | 15.0   | 215.0     | 22.0   |
| 110.7     | 19.0   | 171.8     | 14.0   | 230.2     | 20.5   |
| 126.0     | 17.0   | 182.3     | 13.0   | 235.5     | 20.0   |
| 142.9     | 15.0   | 193.4     | 12.0   | 246.4     | 19.0   |
| 183.3     | 11.0   | 211.6     | 10.9   | 1272.0    | 11.7   |
| 301.8     | 9.0    | 261.2     | 9.9    |           |        |
| 469.4     | 8.5    | 564.0     | 8.9    |           |        |

Tabla N° 53

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del Carbonato TE 100 (92.9 – 451.6 g/l).

| 92.9 g/l |        | 138.1 g/l |        | 173.7 g/l |        | 265.9 g/l |        | 451.6 g/l |        |
|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (min)  | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) |
| 0.0      | 48.5   | 0.0       | 48.7   | 0.0       | 48.6   | 0.0       | 49.5   | 0.0       | 49.0   |
| 0.5      | 47.0   | 0.6       | 47.3   | 0.3       | 47.0   | 0.5       | 49.0   | 2.2       | 48.0   |
| 0.7      | 46.0   | 0.9       | 46.5   | 1.1       | 46.4   | 1.5       | 47.9   | 6.7       | 46.0   |
| 1.0      | 45.0   | 1.0       | 46.0   | 1.3       | 46.0   | 2.5       | 47.0   | 9.2       | 45.0   |
| 1.7      | 43.0   | 1.4       | 45.0   | 1.8       | 45.0   | 3.3       | 46.0   | 19.0      | 41.1   |
| 2.0      | 42.0   | 1.8       | 44.0   | 2.3       | 44.0   | 4.2       | 45.0   | 21.7      | 40.0   |
| 2.2      | 41.0   | 2.2       | 43.0   | 2.8       | 43.0   | 5.2       | 44.0   | 27.1      | 38.0   |
| 2.7      | 39.5   | 2.6       | 42.0   | 3.3       | 42.0   | 6.2       | 43.0   | 35.4      | 35.0   |
| 3.0      | 38.5   | 3.2       | 40.5   | 3.9       | 41.0   | 7.1       | 42.0   | 40.2      | 33.3   |
| 3.2      | 38.0   | 3.4       | 40.0   | 4.3       | 40.0   | 8.1       | 41.0   | 47.1      | 31.0   |
| 3.5      | 37.0   | 3.8       | 39.0   | 5.4       | 38.0   | 9.0       | 40.0   | 52.0      | 29.5   |
| 3.8      | 36.0   | 4.2       | 38.0   | 5.9       | 37.0   | 9.9       | 39.0   | 55.6      | 28.5   |
| 4.1      | 35.0   | 4.8       | 36.5   | 6.5       | 36.0   | 10.8      | 38.0   | 64.0      | 26.4   |
| 4.6      | 33.5   | 5.0       | 36.0   | 7.0       | 35.0   | 11.9      | 37.0   | 71.5      | 24.7   |
| 4.7      | 33.0   | 5.3       | 35.0   | 7.5       | 34.0   | 12.8      | 36.0   | 80.5      | 22.9   |
| 5.0      | 32.0   | 5.7       | 34.0   | 8.1       | 33.0   | 14.2      | 34.6   | 89.1      | 21.4   |
| 5.3      | 31.0   | 6.1       | 33.0   | 8.7       | 32.0   | 15.1      | 33.7   | 103.8     | 19.3   |
| 5.9      | 29.0   | 6.5       | 32.0   | 9.1       | 31.0   | 16.1      | 32.7   | 121.8     | 18.8   |
| 6.3      | 28.0   | 6.9       | 31.0   | 9.9       | 29.5   | 16.8      | 32.0   | 220.2     | 18.4   |
| 6.6      | 27.0   | 7.3       | 30.0   | 10.2      | 29.0   | 18.0      | 30.8   | 1800.0    | 18.3   |
| 6.9      | 26.0   | 7.7       | 29.0   | 11.0      | 27.5   | 18.9      | 30.0   |           |        |
| 7.2      | 25.0   | 8.1       | 28.0   | 11.2      | 27.0   | 20.3      | 28.7   |           |        |
| 7.5      | 24.0   | 8.5       | 27.0   | 11.7      | 26.0   | 21.1      | 28.0   |           |        |
| 8.4      | 21.0   | 8.9       | 26.0   | 12.3      | 25.0   | 22.3      | 27.0   |           |        |
| 8.8      | 20.0   | 9.3       | 25.0   | 12.9      | 24.0   | 23.6      | 26.0   |           |        |
| 9.1      | 19.0   | 9.7       | 24.0   | 13.4      | 23.0   | 25.4      | 24.7   |           |        |
| 9.5      | 18.0   | 10.5      | 22.0   | 13.9      | 22.0   | 26.9      | 23.8   |           |        |
| 9.7      | 17.0   | 11.3      | 20.0   | 14.5      | 21.0   | 28.7      | 22.8   |           |        |
| 10.1     | 16.0   | 12.1      | 18.0   | 15.1      | 20.0   | 30.3      | 22.0   |           |        |
| 10.4     | 15.0   | 12.7      | 16.5   | 15.7      | 19.0   | 32.9      | 21.0   |           |        |
| 10.7     | 14.0   | 12.9      | 16.0   | 16.3      | 18.0   | 36.6      | 19.8   |           |        |
| 11.0     | 13.0   | 13.3      | 15.0   | 17.2      | 16.7   | 39.5      | 19.0   |           |        |
| 11.5     | 11.5   | 13.8      | 14.0   | 17.9      | 16.0   | 43.8      | 18.0   |           |        |
| 11.9     | 10.5   | 14.2      | 13.0   | 19.2      | 15.0   | 48.7      | 17.0   |           |        |
| 12.3     | 9.0    | 14.7      | 12.0   | 21.2      | 14.0   | 53.9      | 16.0   |           |        |
| 13.0     | 7.0    | 15.6      | 11.0   | 25.6      | 12.5   | 56.4      | 15.5   |           |        |
| 13.3     | 6.5    | 17.9      | 10.0   | 28.1      | 11.8   | 60.3      | 15.0   |           |        |
| 14.1     | 6.2    | 21.2      | 9.0    | 31.4      | 11.0   | 63.7      | 14.5   |           |        |
| 15.5     | 5.8    | 25.5      | 8.0    | 39.8      | 9.4    | 67.1      | 14.0   |           |        |
| 17.1     | 5.4    | 34.6      | 7.0    | 48.2      | 8.9    | 75.6      | 12.9   |           |        |
| 19.8     | 4.9    | 53.6      | 6.7    | 84.8      | 8.5    | 143.4     | 12.0   |           |        |
| 1600.0   | 4.3    | 1600.0    | 6.4    | 1600.0    | 8.3    | 1600.0    | 11.5   |           |        |

Tabla N° 54

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del Carbonato TE 100(494.9 – 747.0 g/l).

| 494.9 g/l |        | 564.4 g/l |        | 747.7 g/l |        |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) | t (min)   | H (cm) |
| 0.0       | 48.7   | 0.0       | 48.7   | 0.0       | 48.2   |
| 0.5       | 48.5   | 4.6       | 47.7   | 9.6       | 47.3   |
| 1.9       | 48.0   | 9.3       | 46.7   | 13.3      | 46.8   |
| 4.9       | 47.0   | 12.7      | 46.0   | 16.4      | 46.4   |
| 7.9       | 46.0   | 17.9      | 45.0   | 23.2      | 45.5   |
| 11.7      | 44.8   | 23.2      | 44.0   | 35.0      | 44.0   |
| 14.5      | 43.9   | 28.7      | 43.0   | 46.6      | 42.5   |
| 18.9      | 42.5   | 34.5      | 42.0   | 57.5      | 41.0   |
| 22.4      | 41.4   | 40.2      | 41.0   | 65.3      | 39.9   |
| 23.6      | 41.0   | 46.6      | 39.9   | 73.5      | 38.7   |
| 29.9      | 39.1   | 54.0      | 38.6   | 79.5      | 37.6   |
| 35.5      | 37.4   | 65.9      | 36.6   | 89.8      | 36.0   |
| 41.9      | 35.5   | 73.8      | 35.3   | 102.3     | 33.9   |
| 45.0      | 34.6   | 79.9      | 34.3   | 107.5     | 33.0   |
| 50.6      | 33.0   | 84.8      | 33.5   | 113.0     | 32.0   |
| 55.4      | 31.7   | 97.0      | 31.5   | 118.9     | 30.9   |
| 64.7      | 29.1   | 114.8     | 28.8   | 126.2     | 29.4   |
| 69.2      | 27.9   | 121.1     | 28.0   | 128.6     | 28.9   |
| 75.6      | 26.3   | 130.5     | 26.7   | 135.7     | 27.9   |
| 80.9      | 25.0   | 148.9     | 24.5   | 139.4     | 27.7   |
| 89.4      | 23.2   | 158.5     | 23.3   | 145.1     | 27.5   |
| 96.9      | 21.9   | 167.0     | 22.9   | 160.4     | 27.3   |
| 115.9     | 20.9   | 178.9     | 22.7   | 202.8     | 27.0   |
| 133.2     | 20.5   | 205.6     | 22.6   | 1600.0    | 26.9   |
| 155.5     | 20.3   | 1600.0    | 22.4   |           |        |
| 1600.0    | 19.9   |           |        |           |        |

Tabla N° 55

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG (70.0 – 101.1 g/l).

| 70.0 g/l |       | 80.2 g/l |       | 89.9 g/l |       | 89.9 g/l |       | 101.1 g/l |       | 101.1 g/l |       |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0      | 46.9  | 0.0      | 39.7  | 0.0      | 35.8  | 0.0      | 35.8  | 0.0       | 36.3  | 0.0       | 36.3  |
| 0.7      | 46.0  | 1.2      | 39.0  | 1.2      | 35.0  | 1.2      | 35.0  | 1.2       | 36.0  | 1.2       | 36.0  |
| 1.3      | 45.0  | 2.4      | 38.0  | 2.5      | 34.0  | 2.4      | 34.0  | 3.0       | 35.0  | 2.7       | 35.0  |
| 2.0      | 44.0  | 3.6      | 37.0  | 3.8      | 33.0  | 3.6      | 33.0  | 4.6       | 34.0  | 4.1       | 34.0  |
| 2.7      | 43.0  | 5.1      | 35.9  | 5.2      | 32.0  | 4.9      | 32.0  | 6.2       | 33.0  | 5.7       | 33.0  |
| 3.5      | 42.0  | 6.4      | 35.0  | 6.6      | 31.0  | 6.2      | 31.0  | 7.9       | 32.0  | 7.2       | 32.0  |
| 4.3      | 41.0  | 7.8      | 34.0  | 8.1      | 30.0  | 7.6      | 30.0  | 9.6       | 31.0  | 8.8       | 31.0  |
| 5.1      | 40.0  | 9.4      | 33.0  | 9.8      | 28.9  | 9.1      | 29.0  | 11.4      | 30.0  | 10.5      | 30.0  |
| 5.9      | 39.0  | 10.4     | 32.0  | 11.3     | 28.0  | 10.5     | 28.0  | 13.2      | 29.0  | 12.3      | 29.0  |
| 6.8      | 38.0  | 12.6     | 31.0  | 13.4     | 27.0  | 12.1     | 27.0  | 15.0      | 28.0  | 14.0      | 28.0  |
| 7.7      | 37.0  | 14.3     | 30.0  | 14.9     | 26.0  | 13.7     | 26.0  | 17.0      | 27.0  | 15.8      | 27.0  |
| 8.6      | 36.0  | 16.1     | 29.0  | 16.6     | 25.0  | 15.2     | 25.0  | 18.8      | 26.0  | 17.7      | 26.0  |
| 9.6      | 35.0  | 17.9     | 28.0  | 18.5     | 24.0  | 16.9     | 24.0  | 20.7      | 25.0  | 19.5      | 25.0  |
| 10.6     | 34.0  | 19.7     | 27.0  | 20.5     | 22.9  | 18.6     | 23.0  | 22.6      | 24.0  | 21.4      | 24.0  |
| 11.6     | 33.0  | 21.5     | 26.0  | 22.1     | 22.0  | 20.3     | 22.0  | 24.6      | 23.0  | 23.3      | 23.0  |
| 12.6     | 32.0  | 23.3     | 25.0  | 24.0     | 21.0  | 22.1     | 21.0  | 26.7      | 22.0  | 25.2      | 22.0  |
| 13.9     | 30.9  | 25.1     | 24.0  | 25.8     | 20.0  | 23.8     | 20.0  | 28.7      | 21.0  | 27.2      | 21.0  |
| 14.9     | 30.0  | 26.9     | 23.0  | 27.4     | 19.0  | 25.6     | 19.0  | 30.6      | 20.0  | 29.1      | 20.0  |
| 16.1     | 29.0  | 28.6     | 22.0  | 29.1     | 17.9  | 27.3     | 18.0  | 32.3      | 19.0  | 30.9      | 19.0  |
| 17.4     | 28.0  | 30.3     | 21.0  | 30.5     | 17.0  | 29.0     | 17.0  | 34.1      | 18.0  | 32.7      | 18.0  |
| 18.7     | 27.0  | 31.9     | 20.0  | 32.1     | 16.0  | 30.6     | 16.0  | 36.5      | 17.0  | 35.1      | 17.0  |
| 20.0     | 26.0  | 35.5     | 19.0  | 34.0     | 15.0  | 32.6     | 15.0  | 43.1      | 16.0  | 39.9      | 16.0  |
| 21.3     | 25.0  | 35.5     | 17.8  | 40.3     | 14.0  | 38.6     | 14.0  | 55.8      | 15.0  | 50.2      | 15.0  |
| 22.8     | 24.0  | 37.0     | 16.9  | 52.7     | 13.0  | 51.3     | 13.0  | 83.7      | 13.6  | 72.6      | 13.8  |
| 24.2     | 23.0  | 38.6     | 16.0  | 77.9     | 11.7  | 100.3    | 11.0  | 116.2     | 12.5  | 129.6     | 12.0  |
| 25.6     | 22.0  | 41.8     | 15.0  | 96.2     | 11.0  | 135.6    | 10.0  | 140.8     | 11.9  | 171.1     | 11.0  |
| 27.2     | 21.0  | 50.0     | 14.0  | 249.5    | 7.9   | 268.1    | 7.9   | 161.7     | 11.4  | 233.6     | 10.0  |
| 28.7     | 20.0  | 67.2     | 12.9  |          |       |          |       | 589.0     | 8.0   | 630.2     | 7.9   |
| 30.4     | 19.0  | 109.9    | 11.0  |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 32.0     | 18.0  | 193.1    | 8.8   |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 35.6     | 15.9  |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 44.0     | 14.0  |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 78.8     | 12.0  |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 145.6    | 9.9   |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 261.2    | 8.0   |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 548.1    | 7.0   |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 261.2    | 8.0   |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |
| 548.1    | 7.0   |          |       |          |       |          |       |           |       |           |       |

Tabla N° 56

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión del sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG (119.7 – 160.5 g/l).

| 119.7 g/l |       | 129.4 g/l |       | 159.8 g/l |       | 160.5 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 36.9  | 0.0       | 44.5  | 0.0       | 44.6  | 0.0       | 37.4  |
| 3.0       | 36.0  | 2.7       | 44.0  | 4.9       | 44.0  | 2.1       | 37.0  |
| 5.1       | 35.0  | 4.9       | 43.0  | 8.4       | 43.0  | 6.0       | 35.9  |
| 7.1       | 34.0  | 7.1       | 42.0  | 11.2      | 42.0  | 9.4       | 34.8  |
| 9.2       | 33.0  | 9.3       | 41.0  | 13.9      | 41.0  | 11.7      | 34.0  |
| 11.4      | 32.0  | 11.5      | 40.0  | 16.6      | 40.0  | 14.4      | 33.0  |
| 13.8      | 31.0  | 13.9      | 39.0  | 19.3      | 39.0  | 17.3      | 32.0  |
| 16.3      | 30.0  | 16.4      | 38.0  | 22.3      | 38.0  | 22.2      | 31.0  |
| 18.6      | 29.0  | 19.3      | 36.8  | 25.8      | 36.9  | 27.2      | 29.6  |
| 21.0      | 28.0  | 21.3      | 36.0  | 29.2      | 36.0  | 29.2      | 29.0  |
| 23.1      | 27.0  | 23.8      | 35.0  | 32.4      | 35.0  | 31.9      | 28.0  |
| 25.2      | 26.0  | 26.3      | 34.0  | 35.2      | 34.0  | 34.0      | 27.0  |
| 27.3      | 25.0  | 28.8      | 33.0  | 37.9      | 33.0  | 35.6      | 26.0  |
| 29.4      | 23.9  | 31.3      | 32.0  | 40.1      | 32.0  | 38.8      | 25.0  |
| 31.2      | 23.0  | 33.8      | 31.0  | 42.9      | 30.5  | 45.4      | 24.0  |
| 33.0      | 22.0  | 36.3      | 30.0  | 43.7      | 30.0  | 55.5      | 23.0  |
| 35.0      | 20.9  | 38.7      | 29.0  | 46.0      | 29.0  | 69.7      | 22.0  |
| 38.6      | 20.0  | 41.7      | 27.7  | 51.4      | 28.0  | 88.7      | 21.0  |
| 46.1      | 19.0  | 43.6      | 26.8  | 58.7      | 27.0  | 112.1     | 20.0  |
| 56.8      | 18.0  | 45.3      | 26.0  | 69.2      | 26.0  | 143.1     | 19.0  |
| 74.6      | 17.0  | 47.3      | 25.0  | 85.0      | 25.0  | 180.6     | 18.0  |
| 103.9     | 15.9  | 49.3      | 24.0  | 109.4     | 23.8  | 280.0     | 16.0  |
| 128.8     | 15.0  | 53.3      | 23.0  | 132.3     | 23.0  | 350.3     | 15.0  |
| 174.6     | 14.0  | 60.3      | 22.0  | 162.5     | 22.0  | 1227.0    | 12.0  |
| 216.6     | 13.8  | 73.2      | 21.0  | 220.5     | 20.6  |           |       |
| 268.5     | 12.0  | 94.7      | 19.9  | 285.1     | 19.4  |           |       |
| 1041.6    | 9.3   | 118.7     | 19.0  | 355.3     | 18.3  |           |       |
|           |       | 152.0     | 18.0  | 480.5     | 16.8  |           |       |
|           |       | 189.5     | 17.0  | 1426.0    | 13.7  |           |       |
|           |       | 240.8     | 15.9  |           |       |           |       |
|           |       | 319.7     | 14.4  |           |       |           |       |
|           |       | 353.5     | 13.9  |           |       |           |       |
|           |       | 597.1     | 12.8  |           |       |           |       |
|           |       | 2850.0    | 11.0  |           |       |           |       |

Tabla N° 57

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la baritina blanca micronizada especial (94.8 – 400.2 g/l).

| 94.8 g/l |       | 120.3 g/l |       | 150.2 g/l |       | 198.4 g/l |       | 250.1 g/l |       | 300.2 g/l |       | 400.2 g/l |       |
|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0      | 45.5  | 0.0       | 45.7  | 0.0       | 46.0  | 0.0       | 44.0  | 0.0       | 44.5  | 0.0       | 44.9  | 0.0       | 46.0  |
| 0.2      | 45.0  | 0.3       | 45.0  | 0.6       | 45.0  | 1.0       | 43.0  | 0.7       | 44.0  | 2.1       | 44.0  | 6.9       | 45.0  |
| 0.5      | 44.0  | 0.7       | 44.0  | 1.1       | 44.0  | 2.0       | 42.0  | 2.1       | 43.0  | 4.0       | 43.0  | 9.9       | 44.0  |
| 0.8      | 43.0  | 1.2       | 43.0  | 1.7       | 43.0  | 3.1       | 41.0  | 3.6       | 42.0  | 6.3       | 41.9  | 12.9      | 43.0  |
| 1.1      | 42.0  | 1.6       | 42.0  | 2.3       | 42.0  | 4.3       | 40.0  | 5.3       | 41.0  | 8.4       | 41.0  | 16.3      | 42.0  |
| 1.4      | 41.0  | 2.0       | 41.0  | 2.9       | 41.0  | 5.6       | 39.0  | 7.1       | 40.0  | 10.9      | 40.0  | 19.9      | 41.0  |
| 1.7      | 40.0  | 2.4       | 40.0  | 3.5       | 40.0  | 6.9       | 38.0  | 9.0       | 39.0  | 13.6      | 39.0  | 23.8      | 40.0  |
| 2.0      | 39.0  | 2.8       | 39.0  | 4.1       | 39.0  | 8.4       | 37.0  | 11.2      | 38.0  | 16.6      | 38.0  | 28.1      | 39.0  |
| 2.3      | 38.0  | 3.2       | 38.0  | 4.8       | 38.0  | 9.8       | 36.0  | 13.4      | 37.0  | 19.7      | 37.0  | 32.9      | 38.0  |
| 2.6      | 37.0  | 3.7       | 37.0  | 5.4       | 37.0  | 11.4      | 35.0  | 15.9      | 36.0  | 23.0      | 36.0  | 38.1      | 37.0  |
| 3.0      | 36.0  | 4.1       | 36.0  | 6.1       | 36.0  | 12.9      | 34.0  | 18.4      | 35.0  | 26.5      | 35.0  | 43.5      | 36.0  |
| 3.3      | 35.0  | 4.6       | 35.0  | 6.8       | 35.0  | 14.5      | 33.0  | 21.1      | 34.0  | 30.1      | 34.0  | 48.8      | 35.0  |
| 3.6      | 34.0  | 5.0       | 34.0  | 7.5       | 34.0  | 16.2      | 32.0  | 24.1      | 33.0  | 33.9      | 33.0  | 54.5      | 34.0  |
| 4.0      | 33.0  | 5.5       | 33.0  | 8.3       | 32.8  | 17.9      | 31.0  | 27.1      | 32.0  | 37.8      | 32.0  | 60.4      | 33.0  |
| 4.3      | 32.0  | 6.0       | 32.0  | 8.9       | 32.0  | 19.7      | 30.0  | 30.4      | 31.0  | 41.9      | 31.0  | 66.3      | 32.0  |
| 4.7      | 31.0  | 6.5       | 31.0  | 9.7       | 31.0  | 21.6      | 29.0  | 33.6      | 30.0  | 46.1      | 30.0  | 72.4      | 31.0  |
| 5.0      | 30.0  | 7.0       | 30.0  | 10.4      | 30.0  | 23.5      | 28.0  | 37.0      | 29.0  | 50.6      | 29.0  | 78.9      | 30.0  |
| 5.4      | 29.0  | 7.5       | 29.0  | 11.2      | 29.0  | 25.7      | 26.9  | 40.5      | 28.0  | 55.1      | 28.0  | 85.3      | 29.0  |
| 5.8      | 28.0  | 8.0       | 28.0  | 12.1      | 28.0  | 28.1      | 25.8  | 44.4      | 26.9  | 59.7      | 27.0  | 91.8      | 28.0  |
| 6.1      | 27.0  | 8.5       | 27.0  | 13.0      | 27.0  | 29.9      | 25.0  | 47.6      | 26.0  | 64.5      | 26.0  | 98.4      | 27.0  |
| 6.5      | 26.0  | 9.0       | 26.0  | 14.0      | 26.0  | 32.5      | 23.9  | 51.3      | 25.0  | 69.3      | 25.0  | 104.6     | 26.0  |
| 6.9      | 25.0  | 9.6       | 25.0  | 15.1      | 24.9  | 34.8      | 23.0  | 55.3      | 23.9  | 74.1      | 24.0  | 110.7     | 25.0  |
| 7.2      | 24.0  | 10.1      | 24.0  | 16.2      | 24.0  | 37.7      | 21.9  | 58.7      | 23.0  | 79.4      | 22.9  | 117.4     | 23.9  |
| 7.6      | 23.0  | 10.7      | 23.0  | 17.5      | 23.0  | 40.2      | 21.0  | 62.6      | 22.0  | 84.2      | 21.9  | 128.8     | 22.9  |
| 8.0      | 22.0  | 11.3      | 22.0  | 19.0      | 22.0  | 43.1      | 20.0  | 66.6      | 21.0  | 88.4      | 21.0  | 145.8     | 22.0  |
| 8.4      | 21.0  | 12.0      | 21.0  | 20.8      | 21.0  | 46.3      | 19.0  | 71.0      | 20.0  | 93.2      | 20.0  | 174.5     | 21.0  |
| 8.8      | 20.0  | 12.7      | 20.0  | 22.8      | 20.0  | 49.7      | 18.0  | 75.4      | 19.0  | 98.3      | 19.0  | 220.4     | 20.0  |
| 9.3      | 19.0  | 13.6      | 19.0  | 25.1      | 19.0  | 53.3      | 17.0  | 80.1      | 18.0  | 105.8     | 18.0  | 296.8     | 18.8  |
| 9.7      | 18.0  | 14.7      | 18.0  | 27.7      | 18.0  | 57.3      | 16.0  | 84.8      | 17.0  | 124.4     | 17.0  | 409.8     | 17.9  |
| 10.8     | 16.0  | 16.1      | 17.0  | 30.6      | 17.0  | 62.1      | 14.9  | 89.9      | 16.0  | 158.3     | 15.9  |           |       |
| 12.7     | 14.0  | 19.8      | 15.0  | 33.8      | 16.0  | 66.5      | 14.0  | 98.9      | 15.0  | 208.8     | 15.0  |           |       |
| 16.3     | 12.0  | 24.6      | 13.0  | 37.1      | 15.0  | 71.6      | 13.0  | 124.1     | 14.0  | 284.0     | 14.0  |           |       |
| 21.5     | 10.0  | 30.8      | 11.0  | 40.8      | 14.0  | 80.3      | 12.0  | 169.9     | 13.0  | 3133.0    | 10.3  |           |       |
| 28.0     | 8.0   | 38.6      | 9.0   | 44.9      | 13.0  | 106.3     | 11.0  | 251.3     | 11.9  | 4641.0    | 10.2  |           |       |
| 51.1     | 6.0   | 73.4      | 7.0   | 49.6      | 12.0  | 157.1     | 9.9   | 2648.0    | 8.7   |           |       |           |       |
| 2710.0   | 3.8   | 2968.0    | 4.6   | 55.1      | 11.0  | 470.0     | 7.7   |           |       |           |       |           |       |
|          |       |           |       | 61.0      | 10.0  | 2847.0    | 7.0   |           |       |           |       |           |       |



Tabla N° 58

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la baritina blanca micronizada (100.0 – 200.0 g/l).

| 100.0 g/L |       | 124.3 g/L |       | 140.1 g/L |       | 153.1 g/L |       | 160.1 g/L |       | 200.0 g/L |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0,0       | 46,9  | 0,0       | 46,9  | 0,0       | 47,1  | 0,0       | 46,7  | 0,0       | 47,0  | 0,0       | 47,0  |
| 0,3       | 45,0  | 0,2       | 46,0  | 0,2       | 46,0  | 0,4       | 45,0  | 0,3       | 46,0  | 0,3       | 46,0  |
| 0,4       | 44,0  | 0,4       | 45,0  | 0,4       | 45,0  | 0,6       | 44,0  | 0,6       | 45,0  | 0,7       | 45,0  |
| 0,6       | 43,0  | 0,6       | 44,0  | 0,7       | 44,0  | 0,9       | 43,0  | 0,8       | 44,0  | 1,0       | 44,0  |
| 0,8       | 42,0  | 0,8       | 43,0  | 0,9       | 43,0  | 1,1       | 42,0  | 1,1       | 43,0  | 1,4       | 43,0  |
| 1,0       | 41,0  | 1,0       | 42,0  | 1,1       | 42,0  | 1,4       | 41,0  | 1,4       | 42,0  | 1,7       | 42,0  |
| 1,2       | 40,0  | 1,2       | 41,0  | 1,4       | 41,0  | 1,7       | 40,0  | 1,7       | 41,0  | 2,1       | 41,0  |
| 1,3       | 39,0  | 1,4       | 40,0  | 1,6       | 40,0  | 1,9       | 39,0  | 2,0       | 40,0  | 2,4       | 40,0  |
| 1,5       | 38,0  | 1,6       | 39,0  | 1,9       | 39,0  | 2,2       | 38,0  | 2,3       | 39,0  | 2,8       | 39,0  |
| 1,7       | 37,0  | 1,9       | 38,0  | 2,1       | 38,0  | 2,5       | 37,0  | 2,6       | 38,0  | 3,2       | 38,0  |
| 1,9       | 36,0  | 2,1       | 37,0  | 2,3       | 37,0  | 2,8       | 36,0  | 2,9       | 37,0  | 3,6       | 37,0  |
| 2,1       | 35,0  | 2,3       | 36,0  | 2,6       | 36,0  | 3,0       | 35,0  | 3,2       | 36,0  | 4,0       | 36,0  |
| 2,3       | 34,0  | 2,5       | 35,0  | 2,8       | 35,0  | 3,3       | 34,0  | 3,5       | 35,0  | 4,4       | 35,0  |
| 2,4       | 33,0  | 2,7       | 34,0  | 3,1       | 34,0  | 3,6       | 33,0  | 3,8       | 34,0  | 4,8       | 34,0  |
| 2,6       | 32,0  | 3,0       | 33,0  | 3,4       | 33,0  | 3,9       | 32,0  | 4,1       | 33,0  | 5,2       | 33,0  |
| 2,8       | 31,0  | 3,2       | 32,0  | 3,6       | 32,0  | 4,2       | 31,0  | 4,4       | 32,0  | 5,6       | 32,0  |
| 3,0       | 30,0  | 3,4       | 31,0  | 3,9       | 31,0  | 4,5       | 30,0  | 4,8       | 31,0  | 6,0       | 31,0  |
| 3,2       | 29,0  | 3,6       | 30,0  | 4,2       | 30,0  | 4,8       | 29,0  | 5,1       | 30,0  | 6,4       | 30,0  |
| 3,4       | 28,0  | 3,9       | 29,0  | 4,4       | 29,0  | 5,1       | 28,0  | 5,4       | 29,0  | 6,9       | 29,0  |
| 3,6       | 27,0  | 4,1       | 28,0  | 4,7       | 28,0  | 5,4       | 27,0  | 5,7       | 28,0  | 7,3       | 28,0  |
| 3,8       | 26,0  | 4,3       | 27,0  | 5,0       | 27,0  | 5,7       | 26,0  | 6,1       | 27,0  | 7,8       | 27,0  |
| 4,0       | 25,0  | 4,6       | 26,0  | 5,2       | 26,0  | 6,0       | 25,0  | 6,4       | 26,0  | 8,3       | 26,0  |
| 4,2       | 24,0  | 4,8       | 25,0  | 5,5       | 25,0  | 6,4       | 24,0  | 6,8       | 24,9  | 8,8       | 25,0  |
| 4,4       | 23,0  | 5,1       | 24,0  | 5,8       | 24,0  | 6,7       | 23,0  | 7,1       | 24,0  | 9,4       | 24,0  |
| 4,7       | 22,0  | 5,3       | 23,0  | 6,1       | 23,0  | 7,0       | 22,0  | 7,4       | 23,0  | 10,0      | 23,0  |
| 4,9       | 21,0  | 5,5       | 22,0  | 6,4       | 22,0  | 7,4       | 21,0  | 7,8       | 21,8  | 10,8      | 22,0  |
| 5,1       | 20,0  | 5,8       | 21,0  | 6,6       | 21,0  | 7,7       | 20,0  | 8,2       | 21,0  | 11,9      | 21,0  |
| 5,3       | 19,0  | 6,0       | 20,0  | 6,9       | 20,0  | 8,1       | 19,0  | 8,5       | 20,0  | 13,3      | 20,0  |
| 5,5       | 18,0  | 6,3       | 19,0  | 7,2       | 19,0  | 8,5       | 18,0  | 9,0       | 19,0  | 15,4      | 19,0  |
| 5,7       | 17,0  | 6,5       | 18,0  | 7,5       | 18,0  | 9,0       | 17,0  | 9,5       | 18,0  | 17,9      | 18,0  |
| 5,9       | 16,0  | 6,8       | 17,0  | 7,8       | 17,0  | 9,9       | 16,0  | 10,2      | 17,0  | 21,0      | 17,0  |
| 6,2       | 15,0  | 7,0       | 16,0  | 8,2       | 16,0  | 11,5      | 15,0  | 11,4      | 16,0  | 24,5      | 16,0  |
| 6,4       | 14,0  | 7,3       | 15,0  | 8,6       | 15,0  | 13,6      | 14,0  | 13,3      | 15,0  | 28,7      | 15,0  |
| 6,7       | 12,5  | 7,6       | 14,0  | 9,4       | 14,0  | 16,5      | 13,0  | 16,0      | 14,0  | 33,1      | 14,0  |
| 7,0       | 11,5  | 7,9       | 13,0  | 10,9      | 13,0  | 19,6      | 12,0  | 19,2      | 13,0  | 38,3      | 13,0  |
| 7,5       | 10,5  | 8,9       | 12,0  | 13,2      | 12,0  | 23,6      | 11,0  | 23,3      | 12,0  | 44,5      | 12,0  |
| 8,2       | 10,0  | 10,9      | 11,0  | 16,5      | 11,0  | 28,0      | 10,0  | 27,9      | 11,0  | 53,4      | 10,7  |
| 10,5      | 9,0   | 13,8      | 10,0  | 20,3      | 10,0  | 34,0      | 8,9   | 33,3      | 10,0  | 58,8      | 10,0  |
| 14,1      | 8,0   | 17,4      | 9,0   | 24,8      | 9,0   | 41,1      | 7,8   | 39,4      | 9,0   | 67,5      | 8,9   |
| 16,2      | 7,0   | 22,0      | 8,0   | 30,3      | 8,0   | 46,7      | 7,0   | 46,6      | 8,0   | 83,5      | 7,5   |
| 23,5      | 6,0   | 36,3      | 5,8   | 37,1      | 7,0   | 60,6      | 6,0   | 54,3      | 7,0   | 1154,0    | 6,5   |
| 1449,0    | 3,4   | 180,3     | 4,1   | 1175,0    | 4,6   | 92,9      | 5,3   | 413,9     | 5,0   |           |       |

Tabla N° 59

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la baritina blanca micronizada (230.0 – 270.0 g/l).

| 230.0 g/L |       | 270.0 g/L |       |
|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0,0       | 47,3  | 0,0       | 47,5  |
| 0,4       | 46,0  | 0,2       | 47,0  |
| 0,9       | 45,0  | 0,9       | 46,0  |
| 1,3       | 44,0  | 1,5       | 45,0  |
| 1,8       | 43,0  | 2,2       | 44,0  |
| 2,3       | 42,0  | 2,8       | 43,0  |
| 2,7       | 41,0  | 3,6       | 42,0  |
| 3,2       | 40,0  | 4,3       | 41,0  |
| 3,7       | 39,0  | 5,0       | 40,0  |
| 4,2       | 38,0  | 5,8       | 39,0  |
| 4,7       | 37,0  | 6,7       | 38,0  |
| 5,3       | 36,0  | 7,5       | 37,0  |
| 5,8       | 35,0  | 8,4       | 36,0  |
| 6,3       | 34,0  | 9,3       | 35,0  |
| 6,9       | 33,0  | 10,3      | 34,0  |
| 7,5       | 32,0  | 11,4      | 33,0  |
| 8,0       | 31,0  | 12,5      | 32,0  |
| 8,7       | 30,0  | 13,8      | 31,0  |
| 9,3       | 29,0  | 15,2      | 30,0  |
| 10,0      | 28,0  | 16,8      | 29,0  |
| 10,7      | 27,0  | 18,7      | 28,0  |
| 11,6      | 26,0  | 21,0      | 27,0  |
| 12,6      | 25,0  | 23,5      | 26,0  |
| 13,8      | 24,0  | 26,4      | 25,0  |
| 15,4      | 23,0  | 29,6      | 24,0  |
| 17,4      | 22,0  | 33,2      | 23,0  |
| 19,9      | 21,0  | 37,1      | 22,0  |
| 22,9      | 20,0  | 41,2      | 21,0  |
| 26,4      | 19,0  | 45,9      | 20,0  |
| 30,4      | 18,0  | 51,0      | 19,0  |
| 35,9      | 16,8  | 56,4      | 18,0  |
| 39,8      | 16,0  | 62,3      | 17,0  |
| 45,2      | 15,0  | 68,7      | 16,0  |
| 51,3      | 14,0  | 78,3      | 14,7  |
| 58,0      | 13,0  | 83,7      | 14,0  |
| 65,1      | 12,0  | 92,5      | 13,0  |
| 73,5      | 11,0  | 106,3     | 11,6  |
| 85,1      | 9,7   | 116,6     | 10,8  |
| 92,4      | 9,0   | 128,1     | 10,0  |
| 120,5     | 8,0   | 137,4     | 9,5   |
| 1016,0    | 7,3   | 975,0     | 8,5   |

Tabla N° 60

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la baritina PM GradoAPI (233.2 – 400.3 g/l).

| 233.2 g/l |       | 270.1 g/l |       | 300.1 g/l |       | 350.2 g/l |       | 400.3 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 45.8  | 0.0       | 46.4  | 0.0       | 46.7  | 0.0       | 47.2  | 0.0       | 47.6  |
| 0.3       | 45.0  | 0.2       | 46.0  | 0.3       | 46.0  | 0.7       | 46.0  | 0.4       | 47.0  |
| 0.7       | 44.0  | 0.6       | 45.0  | 0.9       | 45.0  | 1.4       | 45.0  | 1.3       | 46.0  |
| 1.1       | 43.0  | 1.1       | 44.0  | 1.4       | 44.0  | 2.0       | 44.0  | 2.1       | 45.0  |
| 1.5       | 42.0  | 1.5       | 43.0  | 2.0       | 43.0  | 2.7       | 43.0  | 3.0       | 44.0  |
| 1.9       | 41.0  | 2.0       | 42.0  | 2.5       | 42.0  | 3.4       | 42.0  | 3.8       | 43.0  |
| 2.3       | 40.0  | 2.5       | 41.0  | 3.0       | 41.0  | 4.0       | 41.0  | 4.7       | 42.0  |
| 2.7       | 39.0  | 3.0       | 40.0  | 3.6       | 40.0  | 4.7       | 40.0  | 5.5       | 41.0  |
| 3.1       | 38.0  | 3.4       | 39.0  | 4.1       | 39.0  | 5.3       | 39.0  | 6.4       | 40.0  |
| 3.4       | 37.0  | 3.9       | 38.0  | 4.7       | 38.0  | 6.0       | 38.0  | 7.2       | 39.0  |
| 3.8       | 36.0  | 4.4       | 37.0  | 5.2       | 37.0  | 6.7       | 37.0  | 8.1       | 38.0  |
| 4.3       | 35.0  | 4.8       | 36.0  | 5.7       | 36.0  | 7.4       | 36.0  | 9.0       | 37.0  |
| 4.6       | 34.0  | 5.3       | 35.0  | 6.3       | 35.0  | 8.0       | 35.0  | 9.8       | 36.0  |
| 5.0       | 33.0  | 5.8       | 34.0  | 6.8       | 34.0  | 8.7       | 34.0  | 10.7      | 35.0  |
| 5.4       | 32.0  | 6.2       | 33.0  | 7.3       | 33.0  | 9.4       | 33.0  | 11.6      | 34.0  |
| 5.8       | 31.0  | 6.7       | 32.0  | 7.8       | 32.0  | 10.0      | 32.0  | 12.5      | 33.0  |
| 6.2       | 30.0  | 7.2       | 31.0  | 8.4       | 31.0  | 10.7      | 31.0  | 13.4      | 32.0  |
| 6.6       | 29.0  | 7.6       | 30.0  | 8.9       | 30.0  | 11.4      | 30.0  | 14.3      | 31.0  |
| 7.0       | 28.0  | 8.1       | 29.0  | 9.5       | 29.0  | 12.1      | 29.0  | 15.3      | 29.9  |
| 7.4       | 27.0  | 8.6       | 28.0  | 10.0      | 28.0  | 12.9      | 28.0  | 16.2      | 29.0  |
| 7.8       | 26.0  | 9.1       | 27.0  | 10.6      | 27.0  | 13.6      | 27.0  | 17.2      | 28.0  |
| 8.2       | 25.0  | 9.5       | 26.0  | 11.2      | 26.0  | 14.3      | 26.0  | 18.2      | 27.0  |
| 8.6       | 24.0  | 10.0      | 25.0  | 11.7      | 25.0  | 15.1      | 25.0  | 19.3      | 26.0  |
| 9.0       | 23.0  | 10.5      | 24.0  | 12.3      | 24.0  | 15.9      | 24.0  | 20.4      | 25.0  |
| 9.4       | 22.0  | 11.0      | 23.0  | 12.9      | 23.0  | 16.7      | 23.0  | 21.7      | 24.0  |
| 9.8       | 21.0  | 11.5      | 22.0  | 13.5      | 22.0  | 17.7      | 22.0  | 23.0      | 23.0  |
| 10.2      | 20.0  | 11.9      | 21.0  | 14.1      | 21.0  | 18.7      | 21.0  | 24.5      | 22.0  |
| 10.6      | 19.0  | 12.4      | 20.0  | 14.8      | 20.0  | 19.8      | 20.0  | 26.2      | 21.0  |
| 11.1      | 18.0  | 13.0      | 19.0  | 15.5      | 19.0  | 21.2      | 19.0  | 28.1      | 20.0  |
| 11.5      | 17.0  | 13.5      | 18.0  | 16.3      | 18.0  | 22.8      | 18.0  | 30.3      | 19.0  |
| 11.9      | 16.0  | 14.1      | 17.0  | 17.3      | 17.0  | 24.6      | 17.0  | 32.9      | 18.0  |
| 12.4      | 15.0  | 14.7      | 16.0  | 18.4      | 16.0  | 26.9      | 16.0  | 36.8      | 16.7  |
| 12.8      | 14.0  | 15.4      | 15.0  | 19.9      | 15.0  | 29.6      | 15.0  | 39.9      | 15.8  |
| 13.4      | 13.0  | 16.4      | 14.0  | 21.8      | 14.0  | 32.7      | 14.0  | 43.0      | 15.0  |
| 14.1      | 12.0  | 17.9      | 13.0  | 24.2      | 13.0  | 36.2      | 13.0  | 49.7      | 13.4  |
| 15.4      | 11.0  | 19.8      | 12.0  | 27.2      | 12.0  | 40.2      | 12.0  | 56.5      | 12.1  |
| 17.5      | 10.0  | 22.5      | 11.0  | 30.8      | 11.0  | 44.4      | 11.0  | 63.6      | 11.8  |
| 20.4      | 9.0   | 25.8      | 10.0  | 34.6      | 10.0  | 50.2      | 10.5  | 70.8      | 11.6  |
| 23.8      | 8.0   | 29.2      | 9.0   | 41.0      | 9.0   | 1312.0    | 8.8   | 897.0     | 10.2  |
| 28.3      | 7.0   | 37.2      | 8.0   | 91.4      | 8.0   |           |       |           |       |
| 80.4      | 6.0   | 61.5      | 7.4   | 192.1     | 7.6   |           |       |           |       |
| 80.9      | 5.8   | 1044.0    | 6.7   | 253.0     | 7.5   |           |       |           |       |

Tabla N° 61

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de la baritina PM GradoAPI (450.2 – 600.2 g/l).

| 450.2 g/l |       | 500.2 g/l |       | 550.1 g/l |       | 600.2 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 44.6  | 0.0       | 45.3  | 0.0       | 46.0  | 0.0       | 46.5  |
| 0.5       | 44.0  | 0.2       | 45.0  | 1.4       | 45.0  | 1.1       | 46.0  |
| 1.5       | 43.0  | 1.5       | 44.0  | 3.0       | 44.0  | 3.2       | 45.0  |
| 2.4       | 42.0  | 2.8       | 43.0  | 5.5       | 43.0  | 5.3       | 44.0  |
| 3.4       | 41.0  | 4.2       | 42.0  | 6.5       | 42.0  | 7.5       | 43.0  |
| 4.5       | 40.0  | 5.6       | 41.0  | 8.2       | 41.0  | 9.7       | 42.0  |
| 5.5       | 39.0  | 7.0       | 40.0  | 10.0      | 40.0  | 12.0      | 41.0  |
| 6.5       | 38.0  | 8.4       | 39.0  | 11.9      | 39.0  | 14.3      | 40.0  |
| 7.6       | 37.0  | 9.8       | 38.0  | 13.7      | 38.0  | 16.6      | 39.0  |
| 8.6       | 36.0  | 11.3      | 37.0  | 15.6      | 37.0  | 18.9      | 38.0  |
| 9.7       | 35.0  | 12.6      | 36.0  | 17.2      | 36.0  | 21.2      | 37.0  |
| 10.8      | 34.0  | 14.1      | 35.0  | 19.2      | 35.0  | 23.4      | 36.0  |
| 11.9      | 33.0  | 15.5      | 34.0  | 21.0      | 34.0  | 25.7      | 35.0  |
| 13.0      | 32.0  | 17.0      | 33.0  | 22.9      | 33.0  | 27.9      | 34.0  |
| 14.1      | 31.0  | 18.5      | 32.0  | 24.7      | 32.0  | 30.2      | 33.0  |
| 15.3      | 30.0  | 20.0      | 31.0  | 26.6      | 31.0  | 32.4      | 32.0  |
| 16.5      | 29.0  | 21.5      | 30.0  | 28.5      | 30.0  | 34.7      | 31.0  |
| 17.8      | 28.0  | 23.1      | 29.0  | 30.4      | 29.0  | 37.0      | 30.0  |
| 19.0      | 27.0  | 24.6      | 28.0  | 32.4      | 28.0  | 39.3      | 29.0  |
| 20.4      | 26.0  | 26.3      | 27.0  | 34.5      | 27.0  | 41.7      | 28.0  |
| 21.7      | 25.0  | 28.1      | 26.0  | 36.5      | 26.0  | 44.1      | 27.0  |
| 23.2      | 24.0  | 29.9      | 25.0  | 38.8      | 25.0  | 46.7      | 26.0  |
| 24.7      | 23.0  | 31.8      | 24.0  | 41.2      | 24.0  | 49.5      | 25.0  |
| 26.4      | 22.0  | 33.9      | 23.0  | 44.2      | 23.0  | 52.5      | 24.0  |
| 28.2      | 21.0  | 36.2      | 22.0  | 47.0      | 22.0  | 55.9      | 23.0  |
| 30.3      | 20.0  | 38.8      | 21.0  | 50.4      | 21.0  | 59.7      | 22.0  |
| 32.8      | 19.0  | 41.8      | 20.0  | 54.0      | 20.0  | 63.7      | 21.0  |
| 35.6      | 18.0  | 45.2      | 19.0  | 58.1      | 19.0  | 68.0      | 20.0  |
| 38.8      | 17.0  | 49.3      | 18.0  | 62.4      | 18.0  | 72.5      | 19.0  |
| 42.3      | 16.0  | 52.8      | 17.0  | 66.8      | 17.0  | 77.3      | 18.0  |
| 46.3      | 15.0  | 57.2      | 16.0  | 71.9      | 16.0  | 82.2      | 17.0  |
| 50.6      | 14.0  | 62.0      | 15.0  | 82.5      | 15.0  | 99.7      | 16.0  |
| 55.0      | 13.0  | 67.1      | 14.0  | 133.8     | 14.0  | 159.7     | 15.2  |
| 75.3      | 12.0  | 99.3      | 13.0  | 1427.0    | 13.2  | 228.3     | 14.8  |
| 147.2     | 11.2  | 137.1     | 12.6  |           |       | 260.1     | 14.7  |
| 207.2     | 10.9  | 280.9     | 11.9  |           |       | 1133.0    | 14.4  |
| 1252.0    | 10.7  |           |       |           |       |           |       |

Tabla N° 62

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de Minio (378.1 – 641.1 g/l).

| 378.1 g/l |       | 430.0 g/l |       | 472.8 g/l |       | 551.0 g/l |       | 641.1 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 36.7  | 0.0       | 40.1  | 0.0       | 36.7  | 0.0       | 37.4  | 0.0       | 37.5  |
| 0.3       | 36.0  | 0.1       | 40.0  | 0.5       | 36.0  | 0.6       | 37.0  | 0.9       | 37.0  |
| 0.6       | 35.0  | 0.7       | 39.0  | 0.9       | 35.0  | 1.6       | 36.0  | 2.6       | 36.0  |
| 1.0       | 34.0  | 1.2       | 38.0  | 1.5       | 34.0  | 2.5       | 34.9  | 3.8       | 35.0  |
| 1.3       | 33.0  | 1.9       | 37.0  | 2.0       | 33.0  | 3.4       | 34.0  | 5.1       | 34.0  |
| 1.7       | 32.0  | 2.7       | 35.7  | 2.5       | 32.0  | 4.3       | 33.0  | 6.4       | 33.0  |
| 2.1       | 31.0  | 3.2       | 35.0  | 3.0       | 31.0  | 5.2       | 32.0  | 8.3       | 32.0  |
| 2.5       | 30.0  | 3.8       | 34.0  | 3.6       | 30.0  | 6.2       | 31.0  | 9.2       | 31.0  |
| 2.9       | 29.0  | 4.5       | 33.0  | 4.1       | 29.0  | 7.2       | 30.0  | 10.6      | 30.0  |
| 3.2       | 28.0  | 5.2       | 32.0  | 4.7       | 28.0  | 8.2       | 29.0  | 12.1      | 28.9  |
| 3.6       | 27.0  | 5.8       | 31.0  | 5.3       | 27.0  | 9.2       | 28.0  | 13.3      | 28.0  |
| 4.1       | 26.0  | 6.5       | 30.0  | 5.9       | 26.0  | 10.2      | 27.0  | 14.6      | 27.0  |
| 4.5       | 25.0  | 7.2       | 29.0  | 6.5       | 25.0  | 11.0      | 26.0  | 16.0      | 25.9  |
| 4.9       | 24.0  | 7.9       | 28.0  | 7.0       | 24.0  | 12.2      | 25.0  | 17.2      | 25.0  |
| 5.3       | 23.0  | 8.6       | 27.0  | 7.6       | 23.0  | 13.1      | 24.0  | 18.5      | 24.0  |
| 5.7       | 22.0  | 9.3       | 26.0  | 8.2       | 22.0  | 14.1      | 23.0  | 19.7      | 23.0  |
| 6.2       | 21.0  | 10.0      | 25.0  | 8.8       | 21.0  | 15.1      | 22.0  | 21.0      | 22.0  |
| 6.6       | 20.0  | 10.8      | 24.0  | 9.4       | 20.0  | 16.1      | 21.0  | 22.6      | 21.0  |
| 7.1       | 19.0  | 11.5      | 23.0  | 10.0      | 19.0  | 17.1      | 20.0  | 25.3      | 19.5  |
| 7.6       | 18.0  | 12.3      | 22.0  | 10.6      | 18.0  | 18.4      | 19.0  | 29.5      | 19.0  |
| 8.1       | 17.0  | 13.1      | 21.0  | 12.1      | 17.0  | 20.5      | 18.0  | 35.3      | 18.0  |
| 8.6       | 16.0  | 13.9      | 20.0  | 15.2      | 16.0  | 24.2      | 17.0  | 46.0      | 16.8  |
| 9.2       | 15.0  | 14.8      | 19.0  | 21.1      | 14.9  | 28.9      | 16.0  | 55.8      | 16.0  |
| 10.3      | 14.0  | 15.7      | 18.0  | 27.4      | 14.0  | 35.2      | 15.0  | 74.4      | 15.0  |
| 13.0      | 13.0  | 16.8      | 17.0  | 38.0      | 12.9  | 44.3      | 14.0  | 99.5      | 14.0  |
| 17.8      | 12.0  | 17.9      | 16.0  | 49.2      | 12.0  | 56.7      | 13.0  | 140.0     | 13.0  |
| 24.9      | 11.0  | 19.5      | 15.0  | 65.3      | 11.0  | 80.9      | 12.0  |           |       |
| 34.4      | 10.0  | 22.7      | 14.0  | 89.8      | 10.0  | 114.9     | 11.0  |           |       |
| 48.2      | 9.0   | 28.3      | 13.0  | 206.1     | 8.8   |           |       |           |       |
| 72.2      | 8.0   | 35.7      | 12.0  | 368.3     | 8.7   |           |       |           |       |
| 591.1     | 7.1   | 49.2      | 11.0  |           |       |           |       |           |       |
|           |       | 69.8      | 10.0  |           |       |           |       |           |       |

Tabla N° 63

Datos experimentales de la sedimentación discontinua de la suspensión de Litargirio (353.9 – 750.1 g/l).

| 353.9 g/l |       | 460.0 g/l |       | 558.5 g/l |       | 655.8 g/l |       | 750.1 g/l |       |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t (min)   | H(cm) | t(min)    | H(cm) | t(min)    | H(cm) |
| 0.0       | 39.3  | 0.0       | 37.8  | 0.0       | 37.5  | 0.0       | 37.5  | 0.0       | 37.4  |
| 0.1       | 38.0  | 0.1       | 37.0  | 0.1       | 37.0  | 0.1       | 37.0  | 0.1       | 37.0  |
| 0.3       | 37.0  | 0.3       | 36.0  | 0.3       | 36.0  | 0.4       | 36.0  | 0.5       | 36.0  |
| 0.4       | 36.0  | 0.4       | 35.0  | 0.5       | 35.0  | 0.7       | 35.0  | 1.0       | 35.0  |
| 0.5       | 35.0  | 0.6       | 34.0  | 0.7       | 34.0  | 1.0       | 34.0  | 1.4       | 34.0  |
| 0.6       | 34.0  | 0.7       | 33.0  | 0.9       | 33.0  | 1.3       | 33.0  | 1.9       | 33.0  |
| 0.8       | 33.0  | 0.9       | 32.0  | 1.1       | 32.0  | 1.6       | 32.0  | 2.3       | 32.0  |
| 0.9       | 32.0  | 1.0       | 31.0  | 1.3       | 31.0  | 1.9       | 31.0  | 2.8       | 31.0  |
| 1.0       | 31.0  | 1.2       | 30.0  | 1.5       | 30.0  | 2.2       | 30.0  | 3.3       | 30.0  |
| 1.1       | 30.0  | 1.3       | 29.0  | 1.8       | 29.0  | 2.5       | 29.0  | 3.7       | 29.0  |
| 1.3       | 29.0  | 1.5       | 28.0  | 2.0       | 28.0  | 2.8       | 28.0  | 4.2       | 28.0  |
| 1.4       | 28.0  | 1.6       | 27.0  | 2.2       | 27.0  | 3.2       | 27.0  | 4.7       | 27.0  |
| 1.5       | 27.0  | 1.8       | 26.0  | 2.4       | 26.0  | 3.5       | 26.0  | 5.2       | 26.0  |
| 1.6       | 26.0  | 2.0       | 25.0  | 2.7       | 25.0  | 3.8       | 25.0  | 5.7       | 25.0  |
| 1.8       | 25.0  | 2.1       | 24.0  | 2.9       | 24.0  | 4.2       | 24.0  | 6.2       | 24.0  |
| 1.9       | 24.0  | 2.3       | 23.0  | 3.1       | 23.0  | 4.6       | 23.0  | 6.8       | 23.0  |
| 2.0       | 23.0  | 2.4       | 22.0  | 3.4       | 22.0  | 4.9       | 22.0  | 7.4       | 22.0  |
| 2.1       | 22.0  | 2.6       | 21.0  | 3.6       | 21.0  | 5.4       | 21.0  | 8.1       | 21.0  |
| 2.3       | 21.0  | 2.8       | 20.0  | 3.9       | 20.0  | 5.9       | 20.0  | 9.2       | 19.5  |
| 2.4       | 20.0  | 3.0       | 19.0  | 4.1       | 19.0  | 6.5       | 19.0  | 9.7       | 19.0  |
| 2.5       | 19.0  | 3.1       | 18.0  | 4.5       | 18.0  | 7.2       | 18.0  | 10.7      | 18.0  |
| 2.7       | 18.0  | 3.3       | 17.0  | 5.0       | 17.0  | 8.0       | 17.0  | 11.8      | 17.0  |
| 2.8       | 17.0  | 3.5       | 16.0  | 5.6       | 16.0  | 8.9       | 16.0  | 13.0      | 16.0  |
| 2.9       | 16.0  | 3.8       | 15.0  | 6.4       | 15.0  | 9.9       | 15.0  | 14.4      | 15.0  |
| 3.1       | 15.0  | 4.3       | 14.0  | 7.2       | 14.0  | 11.1      | 14.0  | 16.0      | 14.0  |
| 3.2       | 14.0  | 5.0       | 13.0  | 8.2       | 13.0  | 12.5      | 13.0  | 18.1      | 13.0  |
| 3.3       | 13.0  | 5.8       | 12.0  | 9.3       | 12.0  | 14.2      | 12.0  | 20.6      | 12.0  |
| 3.4       | 12.0  | 6.8       | 11.0  | 10.7      | 11.0  | 16.4      | 11.0  | 24.1      | 11.0  |
| 4.0       | 11.0  | 8.0       | 10.0  | 12.4      | 10.0  | 19.3      | 10.0  | 28.8      | 10.0  |
| 4.4       | 10.0  | 9.4       | 9.0   | 14.7      | 9.0   | 23.4      | 9.0   | 42.3      | 8.7   |
| 5.4       | 9.0   | 11.8      | 7.8   | 18.0      | 8.0   | 30.4      | 8.0   | 69.2      | 8.5   |
| 6.3       | 8.0   | 14.2      | 7.0   | 23.6      | 7.0   | 50.2      | 7.4   |           |       |
| 7.6       | 7.0   | 20.0      | 5.9   | 41.9      | 6.3   |           |       |           |       |
| 9.7       | 6.0   | 66.0      | 5.3   |           |       |           |       |           |       |
| 13.2      | 5.0   |           |       |           |       |           |       |           |       |
| 286.2     | 4.1   |           |       |           |       |           |       |           |       |

### Apéndice 7

Ploteos de la altura versus tiempo de sedimentación discontinua de suspensiones acuosas de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

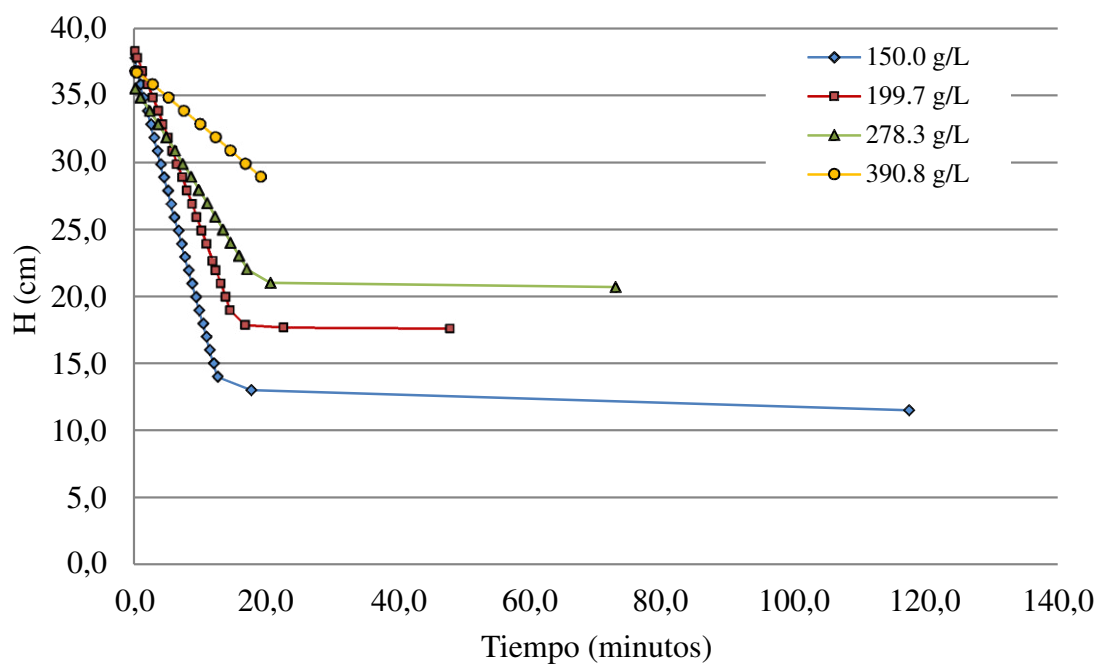


Figura N° 29. Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio químicamente puro Mallinckrodt.

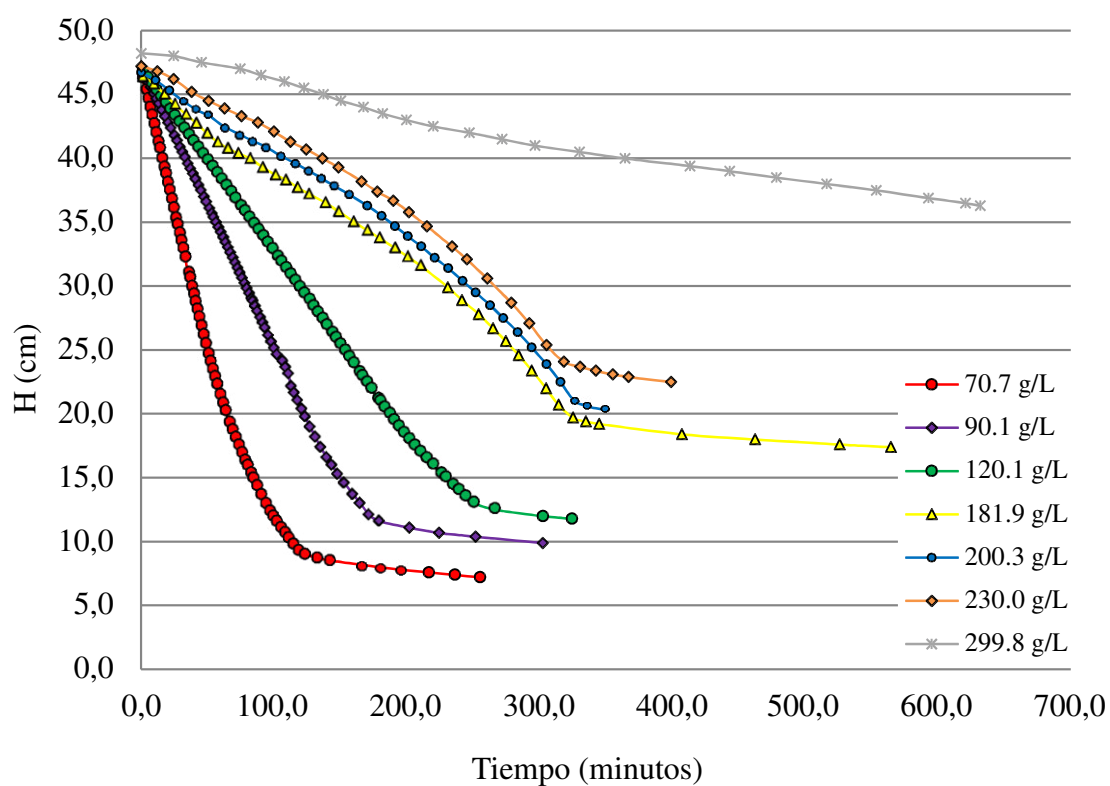


Figura N° 30. Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio micronizado FM-1000.



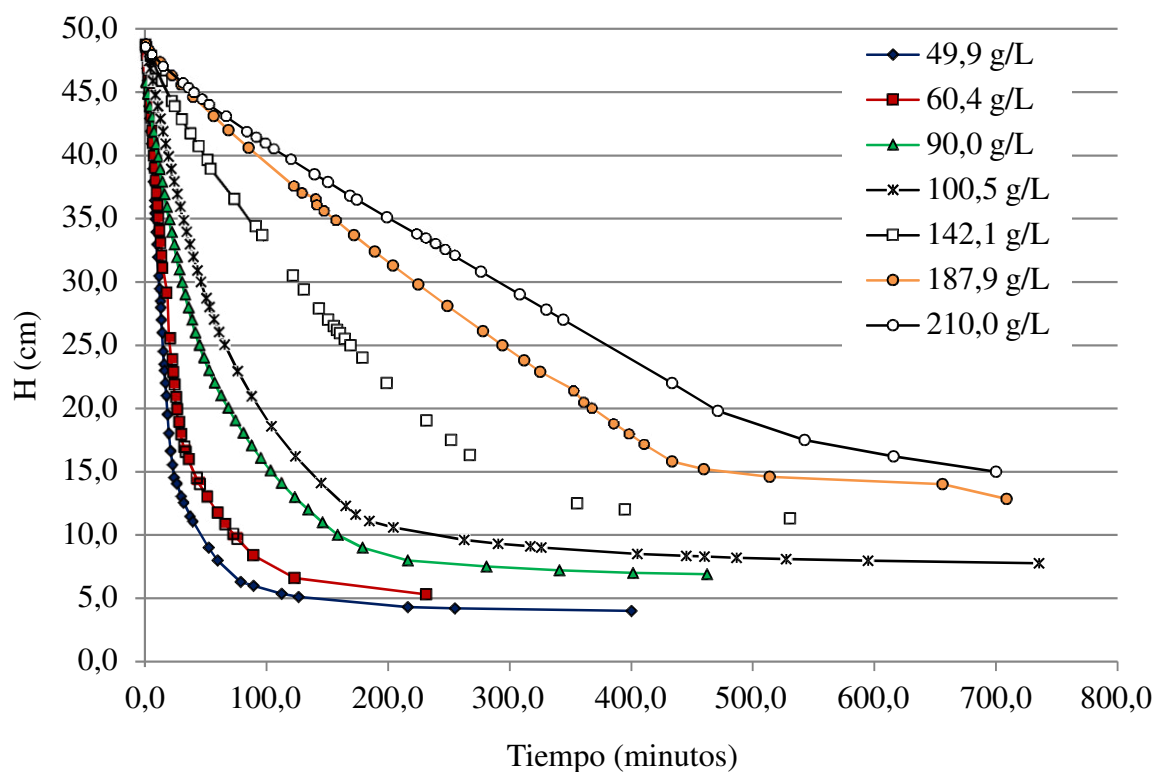


Figura N° 31. Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio precipitado El Nevado.

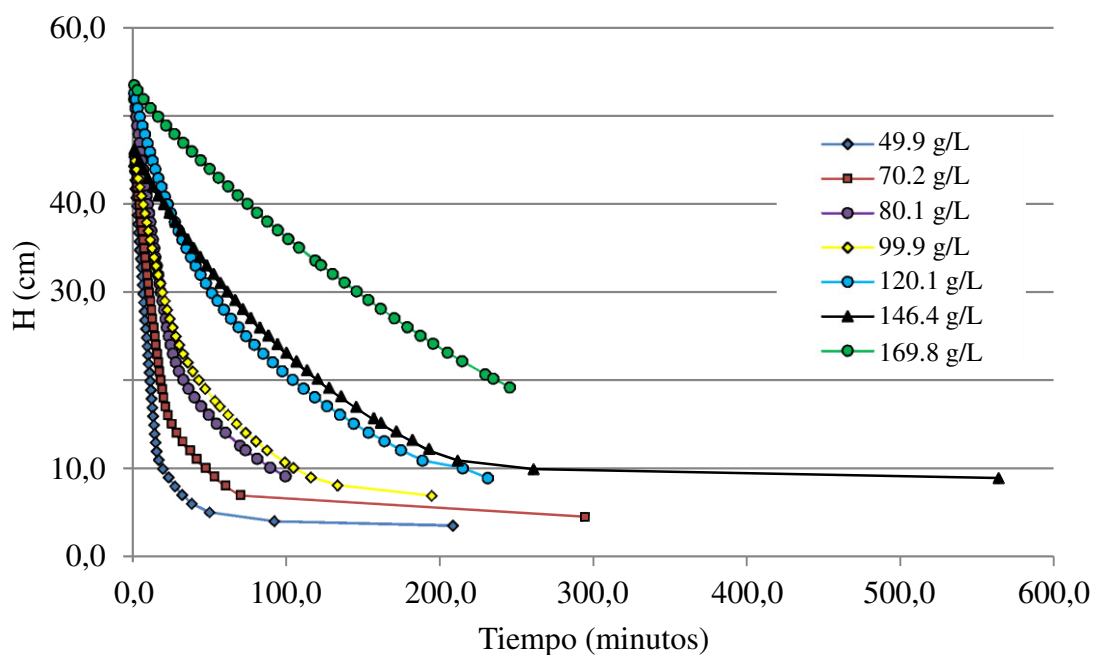


Figura N° 32. Curvas de sedimentación discontinuas del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo.

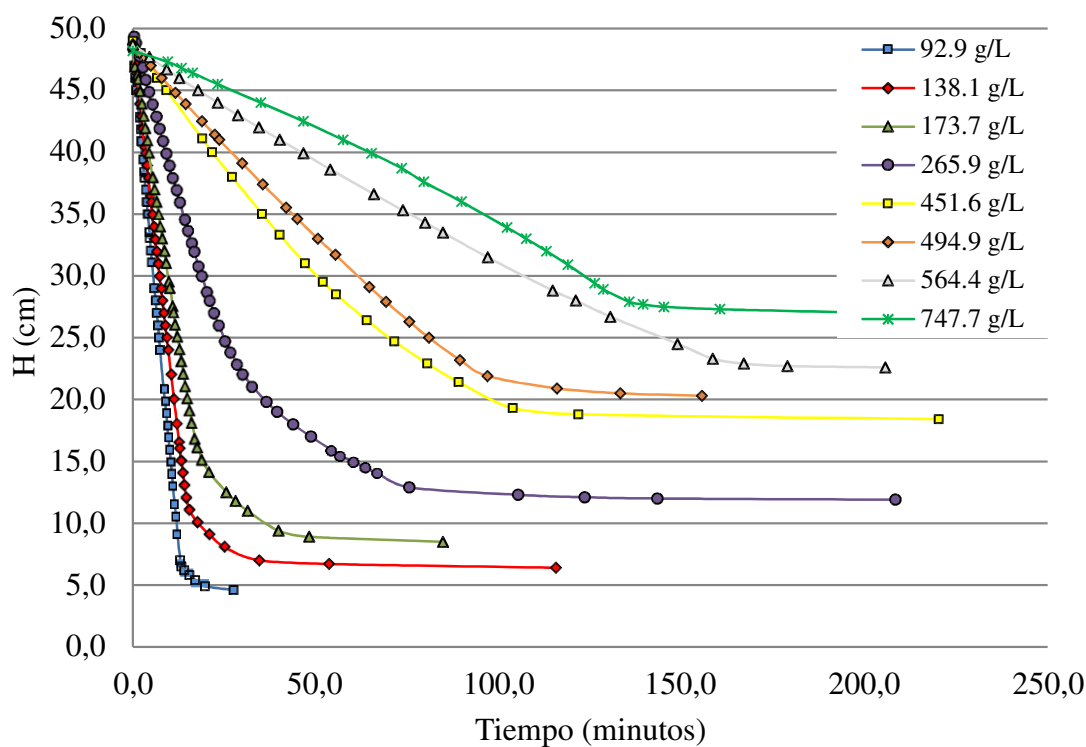


Figura N° 33. Curvas de sedimentación discontinuas del Carbonato TE 100.

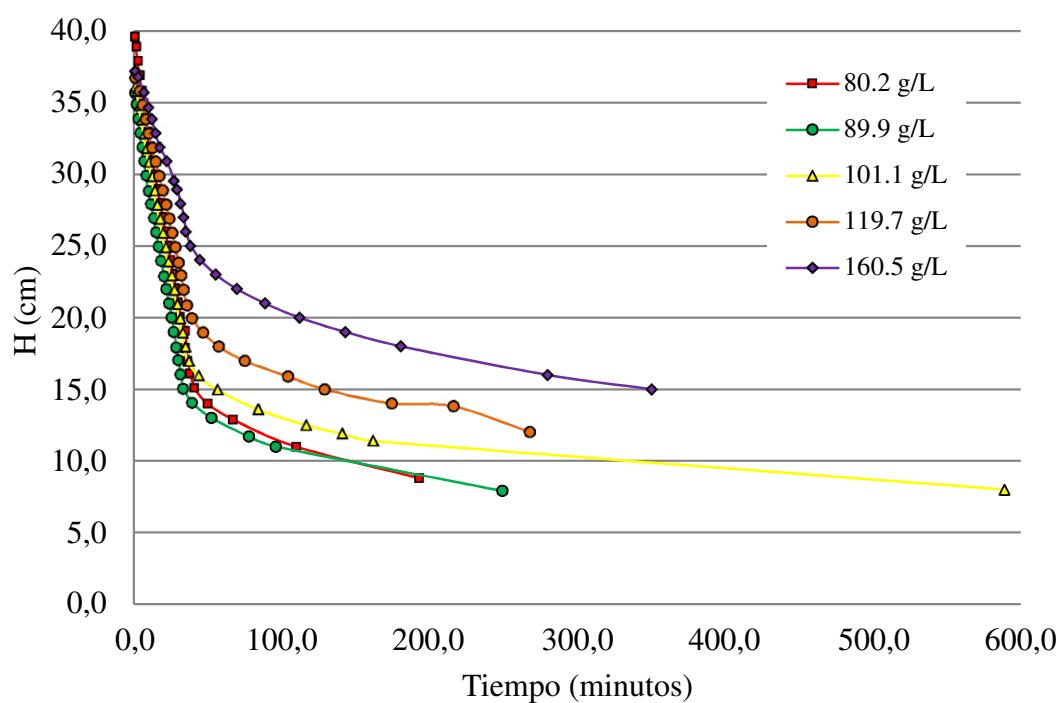


Figura N° 34. Curvas de sedimentación discontinuas del sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG.

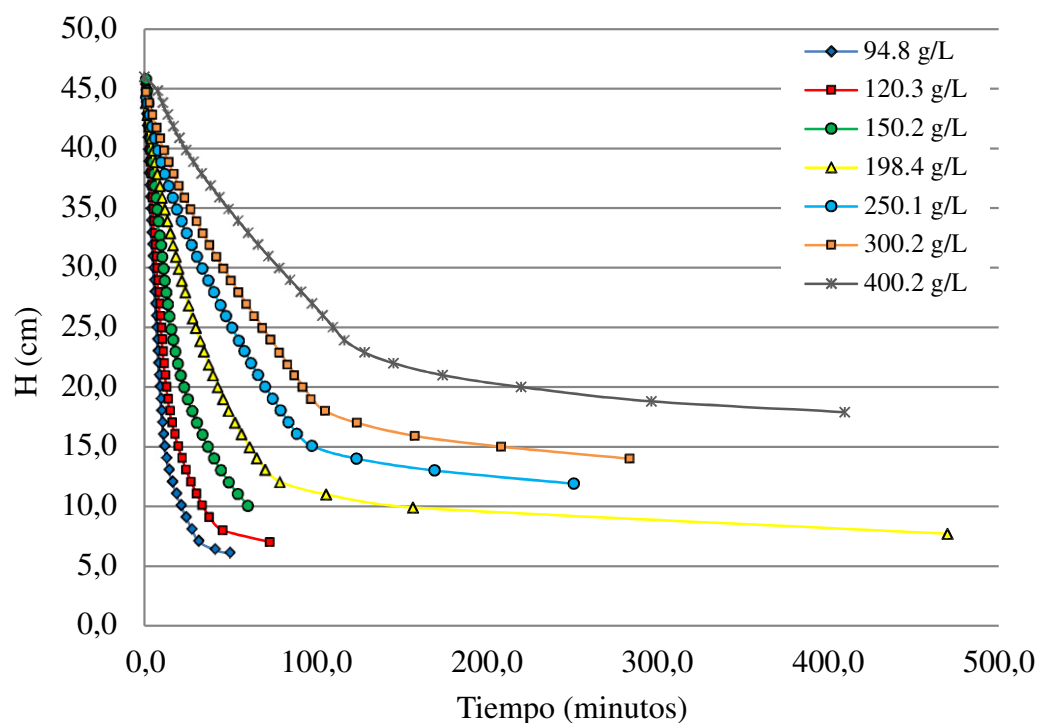


Figura N° 35. Curvas de sedimentación discontinuas de la Baritina blanca micronizada especial.

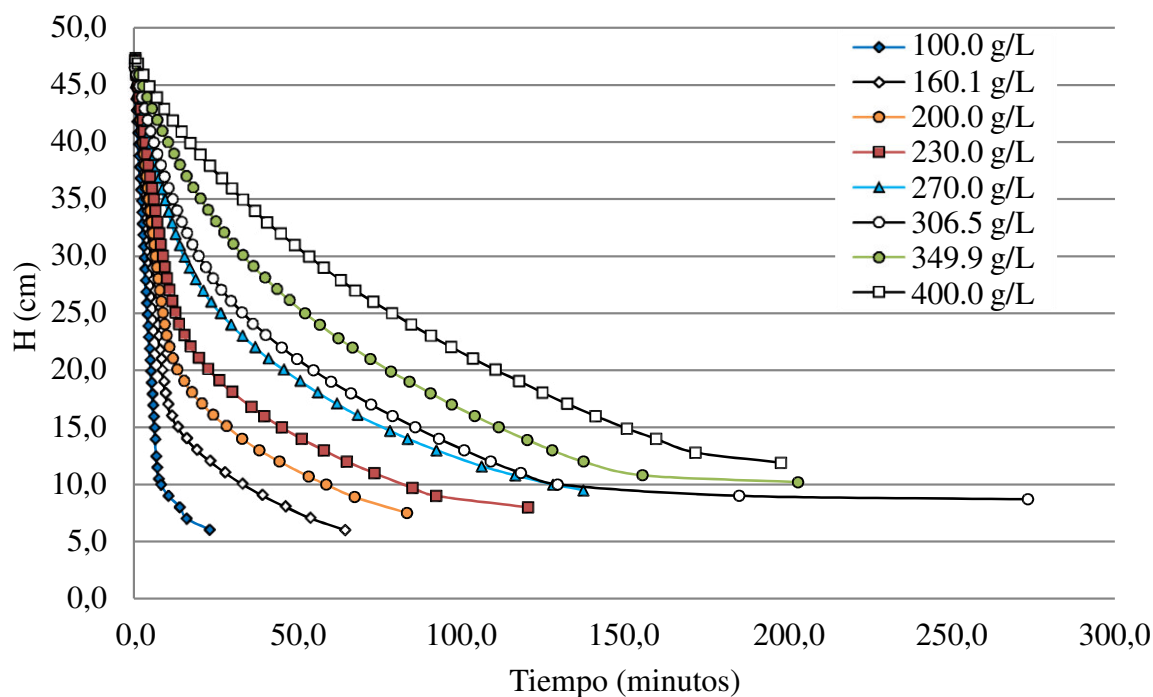


Figura N° 36. Curvas de sedimentación discontinuas de la Baritina blanca micronizada.

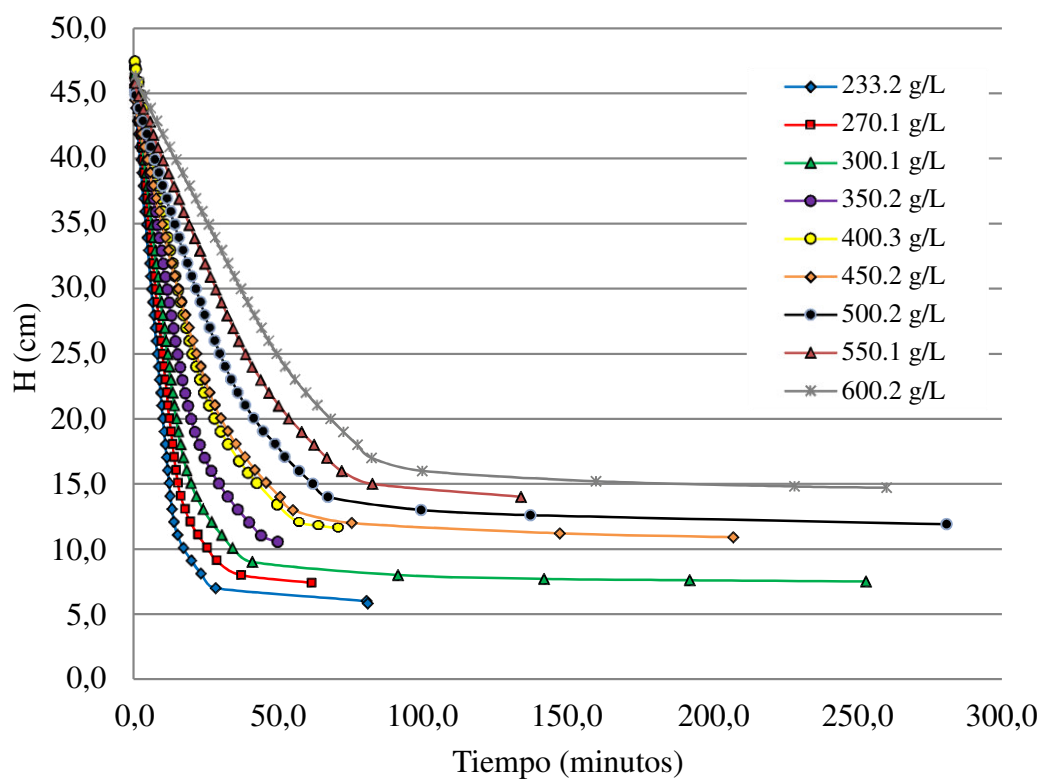


Figura N° 37. Curvas de sedimentación discontinuas de la baritina PM Grado API.

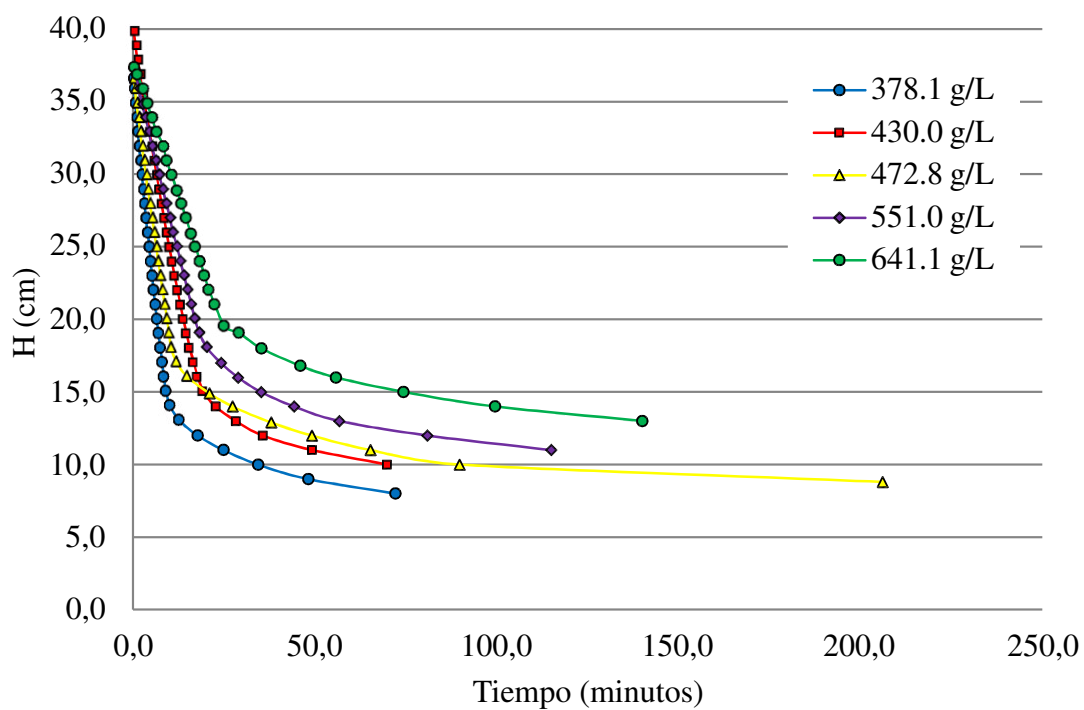


Figura N° 38. Curvas de sedimentación discontinua del Minio.

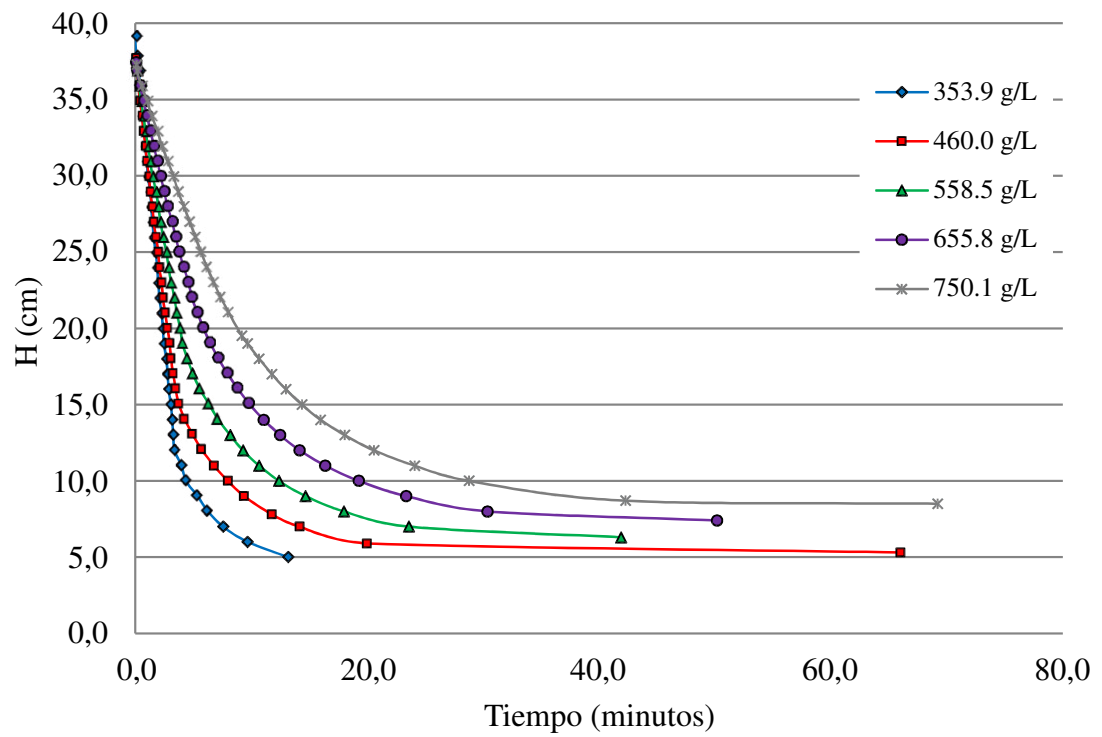


Figura N° 39. Curvas de sedimentación discontinua del Litargirio.

### Apéndice 8

Curvas de distribución de tamaños de partículas de las muestras de carbonato de calcio, sulfato de bario y óxido de plomo.

### 8.1. Distribución de tamaño de partículas: Modelo LA-910

El análisis del tamaño de la partícula se realizó en el equipo Horiba LA-910 (Laboratorio de Industrias Vencedor S.A.); este equipo es un analizador de tamaño de partícula mediante la difracción de laser (Teoría de la Dispersión de Mie), el cual determina tanto el tamaño de la partícula promedio (media, mediana y moda) y su distribución en un rango de  $0.02\text{ }\mu\text{m}$  a  $2000\text{ }\mu\text{m}$ .

#### 8.1.1. ¿Como las partículas difractan la luz?

Entonces, ¿cómo funciona la difracción láser? En su parte más elemental, la difracción láser es acerca de la relación entre el tamaño de las partículas, el ángulo y la intensidad de la luz dispersada. Luz dispersa con mayor intensidad y en pequeños ángulos afuera en partículas grandes que partículas de menor tamaño. De hecho, el propio analizador no mide el tamaño de partícula, mide el ángulo y la intensidad de la luz dispersada por las partículas en la muestra. Esa información luego se pasa a un algoritmo diseñado para utilizar la Teoría de Dispersión de Mie, que transforma los datos de dispersión de luz en información de tamaño de partícula.

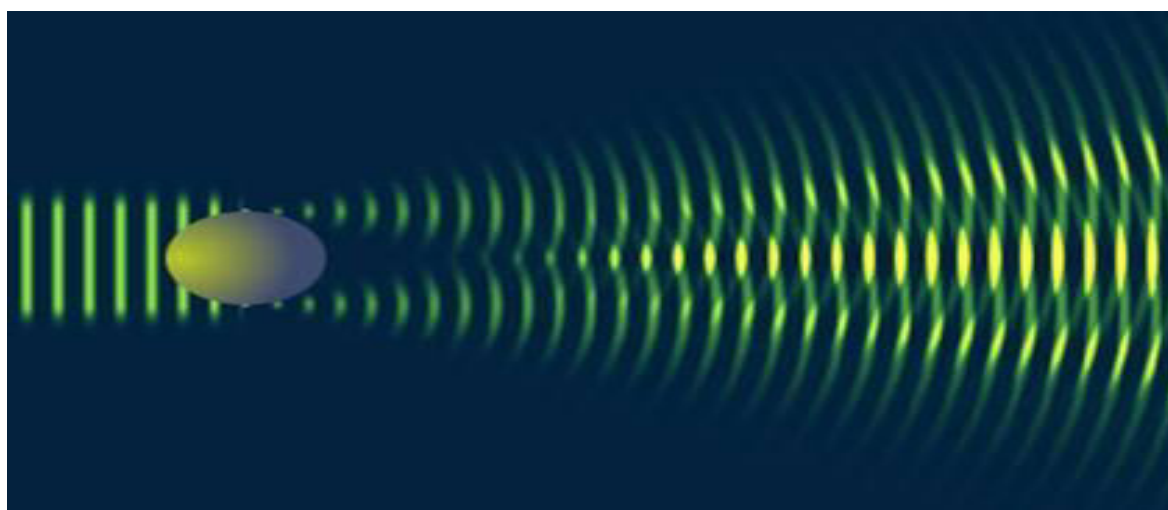


Figura N° 40. Dispersión idealizada de una partícula esférica.

### 8.1.2. Principios de la difracción láser

En el corazón mismo de la técnica de difracción láser es la relación entre la luz y las superficies (que pueden ser intercambiados libremente con "partícula" para nuestros propósitos). Cuando la luz incide sobre una superficie o bien es:

- Difractada
- Refractada
- Reflejada
- Absorvida

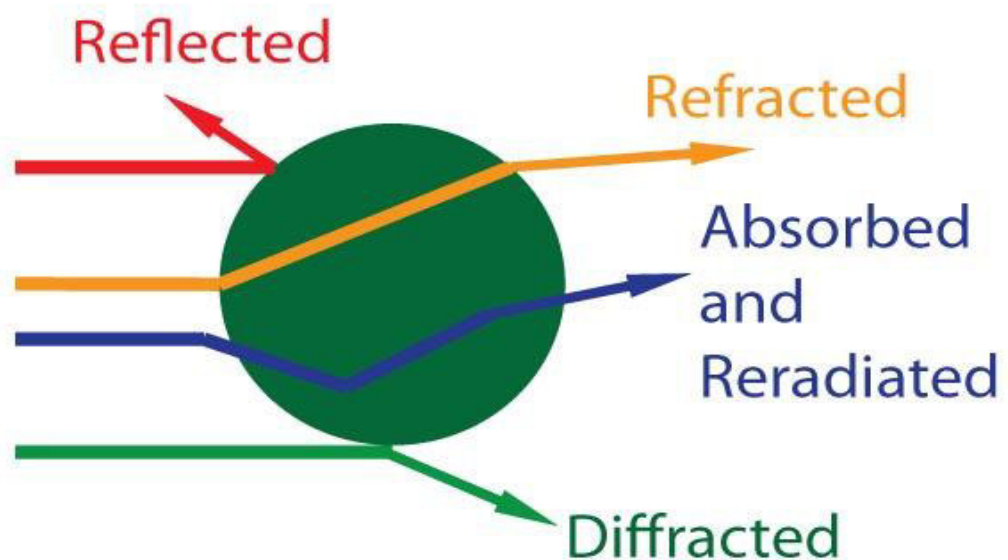


Figura N° 41. Cuatro tipos de interacción entre la luz y la superficie.

La difracción es también conocida como "la difracción de borde" ya que es donde se produce. La refracción ocurre cuando la luz cambia de ángulo al viajar a través de la partícula.

Podemos obtener información sobre el tamaño de una partícula usando el ángulo y la intensidad de la luz dispersada. La luz difractada y refractada es útil para este propósito;



la luz absorbida y reflejada obra en contra de este propósito y deben tenerse en cuenta durante la medición y el cálculo del tamaño de la partícula.

Para partículas grandes en un determinado tamaño la gran mayoría de partículas, la luz es dispersada por difracción. La luz dispersada es relativamente de alta intensidad y un ángulo bajo para estas partículas más grandes. El "cierto tamaño" se determina como un múltiplo de la longitud de onda de la luz utilizada para la medición aproximada y típicamente en 20 micras. Las partículas mayores que este tamaño se comunican información útil a través de la difracción y no refracción. Esto significa que la medición no se beneficiará de la utilización de un índice de refracción de interpretar con precisión la luz refractada.

Para partículas más pequeño que 20 micras, la luz refractada se convierte cada vez más importante para calcular un tamaño de partícula con exactitud. La luz dispersada es relativamente de baja intensidad y amplio ángulo para estas partículas más pequeñas.

#### 8.1.3. Características del Analizador de la difracción láser: Sistema Óptico

El flujo de trabajo básico de un análisis de tamaño de partículas por difracción láser se divide en dos partes:

- Mida el ángulo de luz dispersada y la intensidad.
- Transformar que los datos de dispersión en una distribución de tamaño de partículas.

El Horiba LA-910 consta con un sistema óptico; el cual, el analizador de tamaño de partícula proporciona la acumulación de la luz dispersada en los diferentes ángulos de adelante, a lado y hacia atrás de la partícula. Además de la luz roja (632.8 nm) del laser de HELIUM-NEON, una fuente de luz azul (TUNGSTEN) es incorporada dentro del sistema

para facilitar la medida de tamaños de partícula pequeñas. Esta longitud de onda más corta nos permite detectar partículas por debajo del límite inferior de  $0.02 \mu$ .

El lente delante colector proporciona la acumulación del ángulo bajo de la luz dispersada y direcciona hacia la matriz de fotodiodos. La luz dispersada por las partículas es inversamente proporcional al tamaño de la partícula. Por lo tanto, la matriz delantera proporciona información para partículas grandes y los transforma a micrones. Los ángulos amplios detectados, enviados al extremo inferior del rango del tamaño de la partícula hacia el rango submicrones de tamaño, y la longitud de onda que se extiende incluso más allá.

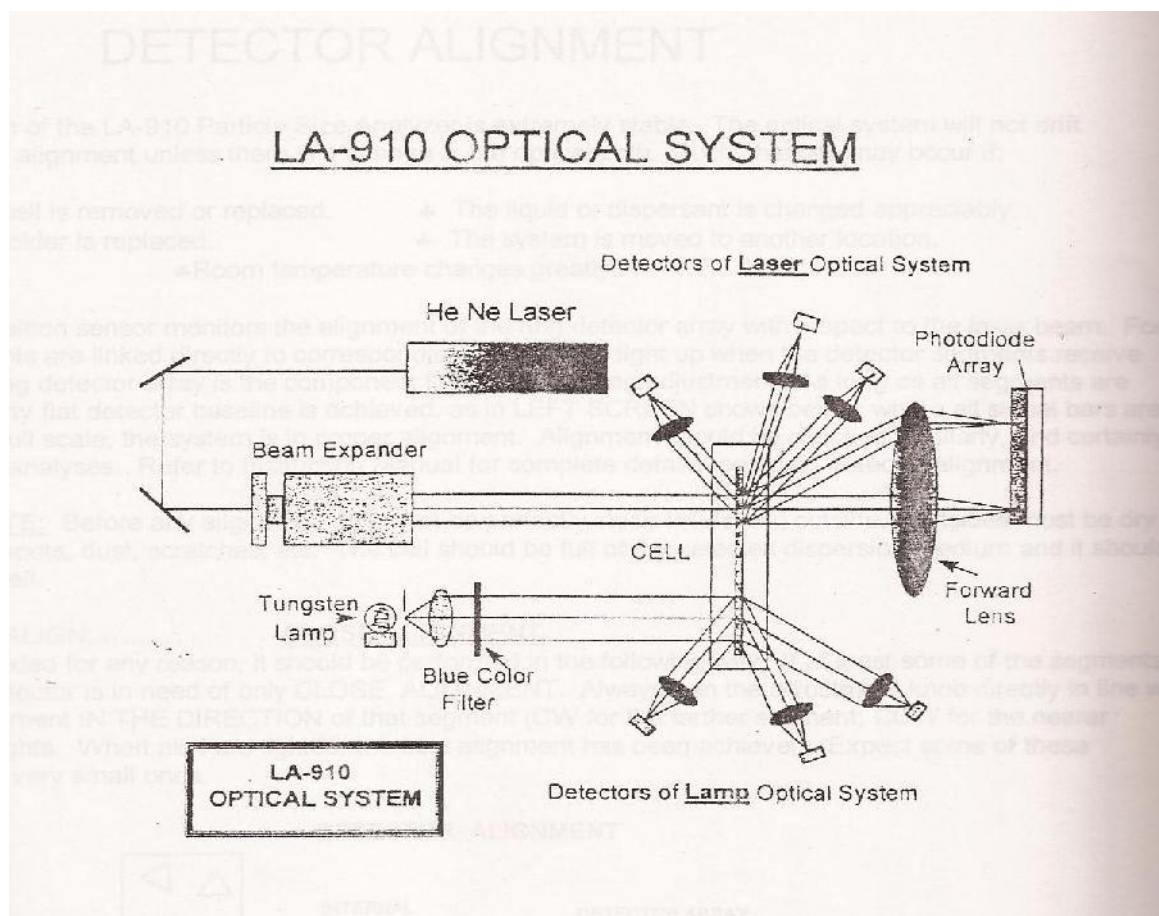


Figura N° 42. Sistema Óptico del LA-910.

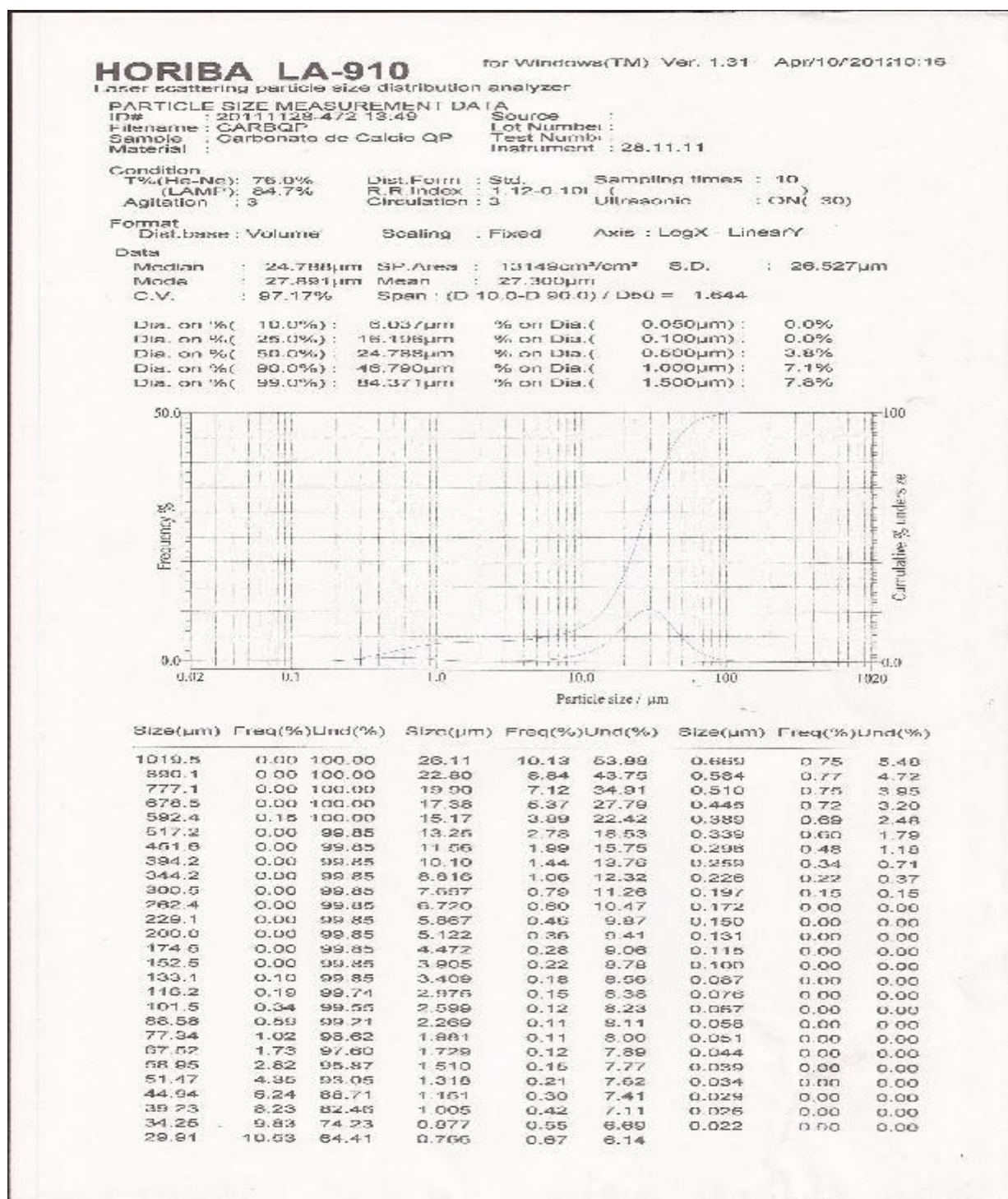


Figura N° 43. Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio químicamente puro Mallinckrodt (Kossodo).



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/10/2012 10:11

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

ID# : 20111123-155 14:05 Source :  
 Filename : FM1000 Lot Number :  
 Sample : Carbonato FM-1000 Test Number :  
 Material : Instrument : 23.11.11

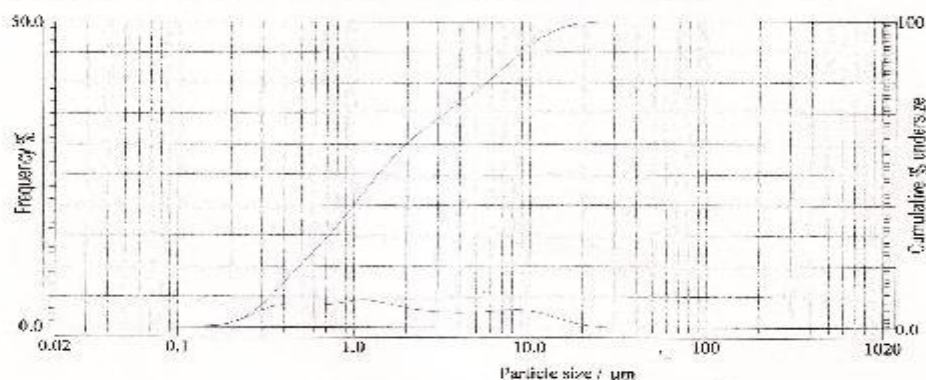
Condition :  
 T%(He-Ne) : 85.5% Dist. Form : Std. Sampling times : 10  
 (I AMP) : 83.6% R.R. Index : 1.12-0.10i ( Ultrasonic : ON( 30)  
 Agitation : 3 Circulation : 3

Format :  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

**Data**

Median : 1.356µm SP. Area : 70248cm²/cm³ S.D. : 3.932µm  
 Mode : 1.075µm Mean : 3.162µm  
 C.V. : 124.35% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 6.369

|                       |          |                         |       |
|-----------------------|----------|-------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0% ) : | 0.338µm  | % on Dia. ( 0.050µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0% ) : | 0.597µm  | % on Dia. ( 0.100µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0% ) : | 1.358µm  | % on Dia. ( 0.500µm ) : | 20.4% |
| Dia. on % ( 90.0% ) : | 8.969µm  | % on Dia. ( 1.000µm ) : | 40.1% |
| Dia. on % ( 99.0% ) : | 17.304µm | % on Dia. ( 1.500µm ) : | 52.9% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1018.5   | 0.00    | 100.00 | 28.11    | 0.14    | 100.00 | 0.869    | 3.57    | 27.97  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 0.29    | 99.86  | 0.684    | 3.47    | 24.40  |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 0.64    | 99.67  | 0.510    | 3.49    | 20.93  |
| 678.6    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 0.81    | 99.03  | 0.446    | 3.60    | 17.44  |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 1.38    | 98.12  | 0.389    | 3.63    | 13.84  |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 1.91    | 96.74  | 0.339    | 3.32    | 10.22  |
| 451.6    | 0.00    | 100.00 | 11.56    | 2.40    | 94.83  | 0.296    | 2.65    | 6.90   |
| 394.2    | 0.00    | 100.00 | 10.10    | 2.78    | 92.43  | 0.259    | 1.84    | 4.25   |
| 344.2    | 0.00    | 100.00 | 8.818    | 2.97    | 89.65  | 0.226    | 1.14    | 2.41   |
| 300.5    | 0.00    | 100.00 | 7.897    | 2.96    | 86.68  | 0.197    | 0.66    | 1.27   |
| 262.4    | 0.00    | 100.00 | 6.720    | 2.79    | 83.74  | 0.172    | 0.28    | 0.62   |
| 229.1    | 0.00    | 100.00 | 5.867    | 2.66    | 80.95  | 0.150    | 0.21    | 0.32   |
| 200.0    | 0.00    | 100.00 | 5.122    | 2.50    | 78.28  | 0.131    | 0.12    | 0.12   |
| 174.6    | 0.00    | 100.00 | 4.472    | 2.46    | 75.78  | 0.116    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 0.00    | 100.00 | 3.905    | 2.42    | 73.32  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 100.00 | 3.409    | 2.53    | 70.91  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 100.00 | 2.976    | 2.61    | 68.38  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 100.00 | 2.599    | 2.75    | 65.77  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 0.00    | 100.00 | 2.269    | 2.98    | 63.02  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 100.00 | 1.981    | 3.28    | 60.04  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.00    | 100.00 | 1.729    | 3.62    | 56.76  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.95    | 0.00    | 100.00 | 1.510    | 4.01    | 53.14  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.00    | 100.00 | 1.318    | 4.36    | 49.13  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.00    | 100.00 | 1.151    | 4.51    | 44.78  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.00    | 100.00 | 1.005    | 4.10    | 40.26  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 0.00    | 100.00 | 0.877    | 4.11    | 35.86  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.00    | 100.00 | 0.766    | 3.78    | 31.75  |          |         |        |

Figura N° 44. Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio micronizado FM-1000.

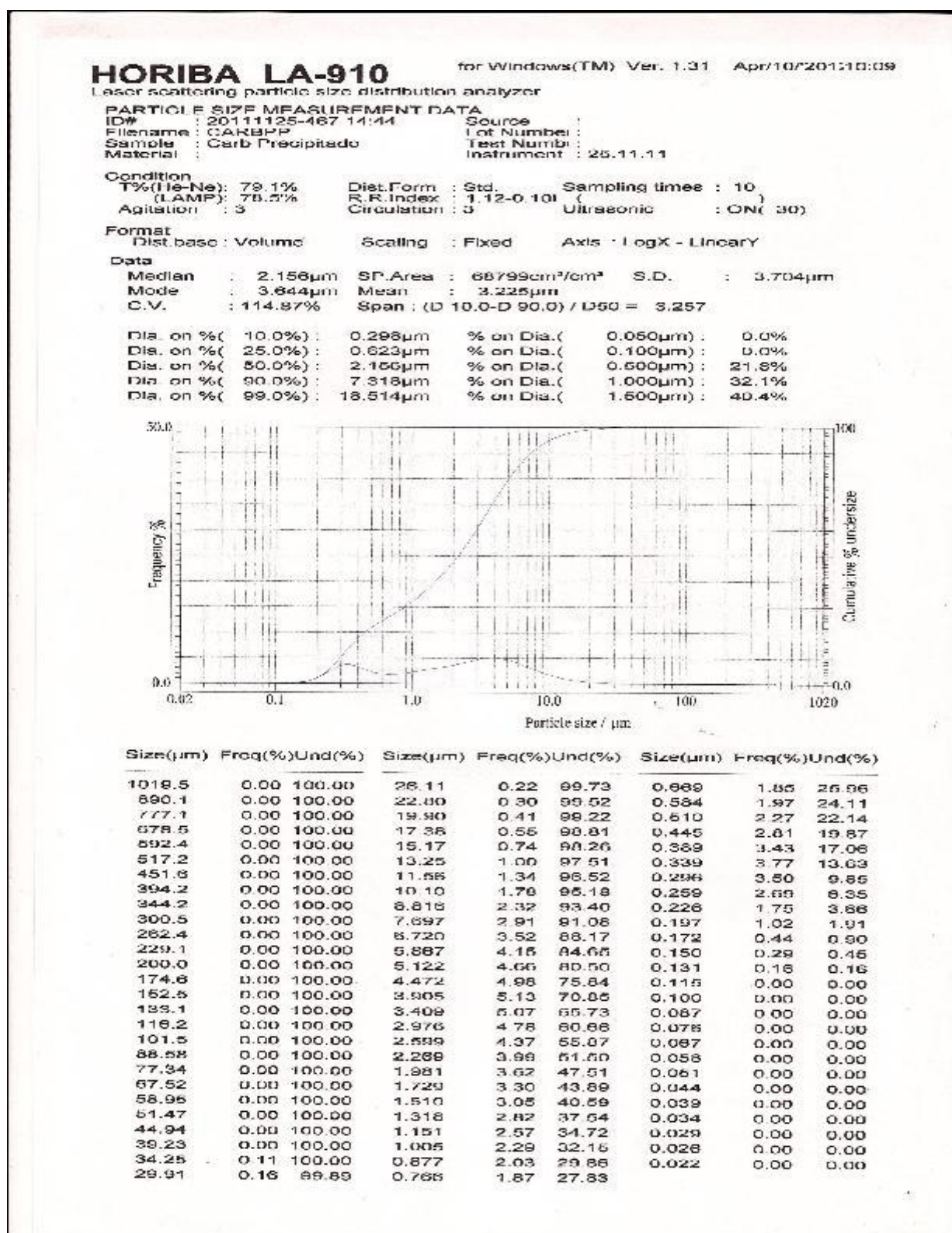


Figura N° 45. Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio precipitado El Nevado.



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/10/2011 10:13

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

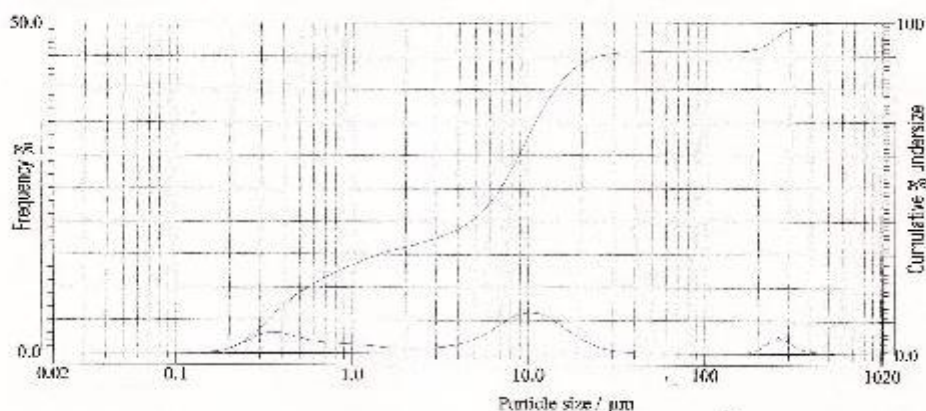
ID# : 20111128-471 13:27 Source :  
 Filename : DIAM Lot Number :  
 Sample : Diamante Rojo Test Number :  
 Material : Instrument : 28.11.11

Condition  
 T% (He-Ne) : 83.9% Dist. Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP) : 83.5% R.R. Index : 1.12-0.10i  
 Agitation : 3 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - Linear Y

Data  
 Median : 6.916µm SF Area : 51747cm²/cm³ S.D. : 74.621µm  
 Mode : 9.447µm Mean : 29.127µm  
 C.V. : 256.97% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 3.617

|                      |           |                        |       |
|----------------------|-----------|------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0%) : | 0.331µm   | % on Dia. ( 0.050µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0%) : | 0.836µm   | % on Dia. ( 0.100µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0%) : | 6.916µm   | % on Dia. ( 0.500µm) : | 19.4% |
| Dia. on % ( 90.0%) : | 26.347µm  | % on Dia. ( 1.000µm) : | 25.9% |
| Dia. on % ( 99.0%) : | 336.549µm | % on Dia. ( 1.500µm) : | 30.4% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 28.11    | 0.89    | 90.19  | 0.669    | 1.76    | 22.44  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 1.45    | 89.30  | 0.584    | 1.98    | 20.68  |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 2.25    | 87.85  | 0.510    | 2.29    | 18.70  |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 3.27    | 85.60  | 0.445    | 2.72    | 16.41  |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 4.37    | 82.34  | 0.389    | 3.13    | 13.89  |
| 517.2    | 0.14    | 100.00 | 13.25    | 5.40    | 77.96  | 0.339    | 3.21    | 10.56  |
| 451.6    | 0.25    | 99.86  | 11.66    | 6.13    | 72.56  | 0.296    | 2.78    | 7.35   |
| 394.2    | 0.46    | 99.60  | 10.10    | 6.35    | 66.43  | 0.259    | 2.00    | 4.57   |
| 344.2    | 0.83    | 99.14  | 8.816    | 6.00    | 60.08  | 0.226    | 1.24    | 2.58   |
| 300.6    | 1.87    | 98.31  | 7.697    | 5.18    | 54.08  | 0.197    | 0.71    | 1.32   |
| 262.4    | 2.51    | 96.44  | 6.720    | 4.16    | 48.90  | 0.172    | 0.30    | 0.61   |
| 229.1    | 1.69    | 93.93  | 5.887    | 3.17    | 44.74  | 0.150    | 0.20    | 0.32   |
| 200.0    | 0.63    | 92.14  | 5.122    | 2.38    | 41.57  | 0.131    | 0.11    | 0.11   |
| 174.6    | 0.20    | 91.51  | 4.472    | 1.81    | 39.19  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 0.00    | 91.31  | 3.905    | 1.39    | 37.38  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 91.31  | 3.409    | 1.15    | 35.99  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 91.31  | 2.976    | 0.96    | 34.84  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 91.31  | 2.599    | 0.85    | 33.87  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 0.00    | 91.31  | 2.289    | 0.82    | 33.02  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 91.31  | 1.981    | 0.84    | 32.20  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.00    | 91.31  | 1.729    | 0.90    | 31.36  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.96    | 0.00    | 91.31  | 1.510    | 1.02    | 30.46  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.00    | 91.31  | 1.318    | 1.17    | 29.44  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.11    | 91.31  | 1.151    | 1.31    | 28.27  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.18    | 91.20  | 1.005    | 1.42    | 26.96  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 0.31    | 91.03  | 0.877    | 1.51    | 25.54  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.53    | 90.72  | 0.766    | 1.60    | 24.04  |          |         |        |

Figura N° 46. Curva de distribución del tamaño de partículas del carbonato de calcio precipitado Diamante Rojo.

**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/10/2014 10:15

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

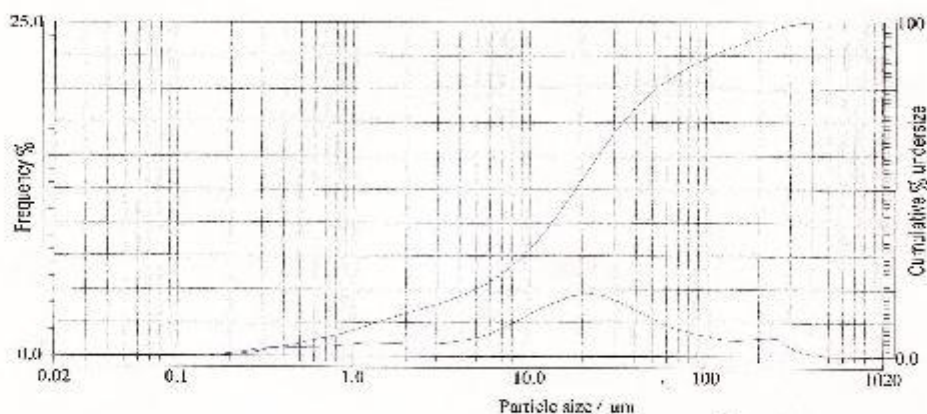
ID# : 20100210-100 14:53 Source : con IR=1.18 0101  
 Filename : CAL C:GOM Lot Number :  
 Sample : Calcita Com Test Number :  
 Material : Dispersada en IPA (H2O) Instrument : 10.02.10

Condition  
 T%(He-Ne): 83.8% Dist. Form : Std. Sampling times : 10  
 (1 AMP): 83.8% R.R. Index : 1.18-0.101 Ultrasonic : ON( 30)  
 Agitation : 3 Circulation : 3

Format  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

Data  
 Median : 18.204µm SP. Area : 17106cm²/cm² S.D. : 60.227µm  
 Mode : 21.276µm Mean : 39.875µm  
 C.V. : 151.04% Span : (D 10.0-D 90.0) / D 50 = 5.825

|                      |           |                        |       |
|----------------------|-----------|------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0%) : | 1.349µm   | % on Dia. ( 0.050µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 20.0%) : | 7.130µm   | % on Dia. ( 0.100µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0%) : | 18.204µm  | % on Dia. ( 0.500µm) : | 3.8%  |
| Dia. on % ( 90.0%) : | 107.388µm | % on Dia. ( 1.000µm) : | 7.8%  |
| Dia. on % ( 99.0%) : | 287.860µm | % on Dia. ( 1.500µm) : | 10.6% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 4.55    | 62.25  | 0.668    | 0.67    | 5.28   |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 4.67    | 57.71  | 0.584    | 0.64    | 4.62   |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 4.63    | 53.04  | 0.510    | 0.62    | 3.98   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 4.49    | 48.42  | 0.445    | 0.62    | 3.36   |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 4.21    | 43.92  | 0.389    | 0.63    | 2.74   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 3.92    | 39.71  | 0.339    | 0.60    | 2.11   |
| 451.6    | 0.13    | 100.00 | 11.56    | 3.68    | 35.79  | 0.296    | 0.52    | 1.51   |
| 394.7    | 0.23    | 99.87  | 10.10    | 3.14    | 32.23  | 0.259    | 0.40    | 0.89   |
| 344.2    | 0.41    | 99.65  | 8.816    | 2.76    | 29.08  | 0.226    | 0.28    | 0.59   |
| 300.5    | 0.74    | 99.23  | 7.697    | 2.36    | 26.33  | 0.197    | 0.19    | 0.31   |
| 262.4    | 1.33    | 98.50  | 6.720    | 1.89    | 23.97  | 0.172    | 0.12    | 0.12   |
| 228.1    | 1.39    | 97.16  | 5.867    | 1.66    | 21.99  | 0.150    | 0.00    | 0.00   |
| 200.0    | 1.34    | 95.78  | 5.122    | 1.40    | 20.33  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.6    | 1.26    | 94.43  | 4.472    | 1.23    | 18.93  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 1.18    | 93.18  | 3.905    | 1.11    | 17.89  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 1.21    | 91.99  | 3.406    | 1.02    | 16.58  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 1.35    | 90.78  | 2.976    | 0.96    | 15.55  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 1.53    | 89.44  | 2.599    | 0.92    | 14.59  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 1.68    | 87.91  | 2.269    | 0.92    | 13.87  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 1.87    | 86.23  | 1.981    | 0.94    | 12.75  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 2.12    | 84.35  | 1.729    | 0.97    | 11.80  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.95    | 2.33    | 82.23  | 1.510    | 1.00    | 10.83  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 2.77    | 79.90  | 1.319    | 1.02    | 9.83   | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 3.16    | 77.14  | 1.151    | 1.00    | 8.80   | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 3.60    | 73.98  | 1.005    | 0.93    | 7.80   | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 3.96    | 70.48  | 0.877    | 0.84    | 6.86   | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 4.27    | 66.52  | 0.765    | 0.74    | 6.03   |          |         |        |

Figura N° 47. Curva de distribución del tamaño de partículas del Carbonato TE 100.



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/11/2011 11:27

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

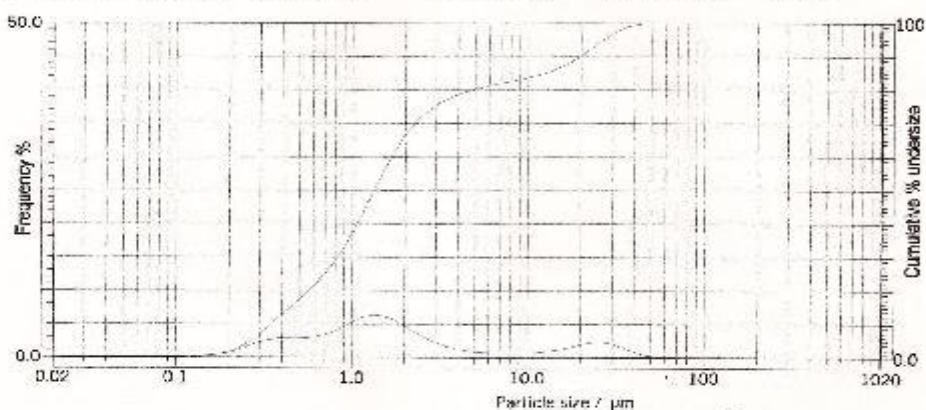
ID# : 20111125-468 15:28 Source :  
 Filename : SULFOP Lot Number :  
 Sample : Sulfato QP Test Number :  
 Material : Instrument : 25.11.11

Condition :  
 T%(He-Ne) : 80.1% Disl. Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP) : 85.8% R.R. Index : 1.22-0.101 Ultrasonic : ON( 30)  
 Agitation : 3 Circulation : 3

Format :  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

Data :  
 Median : 1.330µm SP. Area : 67850cm²/cm³ S.D. : 8.707µm  
 Mode : 1.234µm Mean : 5.017µm  
 C.V. : 173.65% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 14.502

|                       |          |                         |       |
|-----------------------|----------|-------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0% ) : | 0.352µm  | % on Dia. ( 0.050µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0% ) : | 0.700µm  | % on Dia. ( 0.100µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0% ) : | 1.330µm  | % on Dia. ( 0.500µm ) : | 17.2% |
| Dia. on % ( 90.0% ) : | 19.636µm | % on Dia. ( 1.000µm ) : | 37.0% |
| Dia. on % ( 99.0% ) : | 37.320µm | % on Dia. ( 1.500µm ) : | 55.5% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 2.33    | 94.78  | 0.669    | 3.20    | 23.75  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 2.24    | 92.43  | 0.584    | 2.91    | 20.55  |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 1.93    | 90.19  | 0.510    | 2.78    | 17.64  |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 1.55    | 88.26  | 0.445    | 2.79    | 14.88  |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 1.22    | 86.71  | 0.389    | 2.81    | 12.07  |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 0.97    | 85.49  | 0.339    | 2.66    | 9.27   |
| 451.6    | 0.00    | 100.00 | 11.56    | 0.80    | 84.52  | 0.296    | 2.27    | 6.60   |
| 394.2    | 0.00    | 100.00 | 10.10    | 0.69    | 83.72  | 0.259    | 1.70    | 4.34   |
| 344.2    | 0.00    | 100.00 | 8.816    | 0.63    | 83.04  | 0.226    | 1.13    | 2.64   |
| 300.5    | 0.00    | 100.00 | 7.697    | 0.61    | 82.41  | 0.197    | 0.70    | 1.51   |
| 262.4    | 0.00    | 100.00 | 6.720    | 0.63    | 81.79  | 0.172    | 0.40    | 0.82   |
| 229.1    | 0.00    | 100.00 | 5.867    | 0.74    | 81.16  | 0.150    | 0.25    | 0.41   |
| 200.0    | 0.00    | 100.00 | 5.122    | 0.88    | 80.42  | 0.131    | 0.16    | 0.16   |
| 174.6    | 0.00    | 100.00 | 4.472    | 1.08    | 79.58  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 0.00    | 100.00 | 3.906    | 1.36    | 78.48  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 100.00 | 3.409    | 1.76    | 77.13  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 100.00 | 2.978    | 2.30    | 75.37  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 100.00 | 2.599    | 2.99    | 73.07  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 0.00    | 100.00 | 2.269    | 3.85    | 70.07  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 100.00 | 1.981    | 4.79    | 66.22  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.62    | 0.00    | 100.00 | 1.729    | 5.83    | 61.43  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.95    | 0.00    | 100.00 | 1.510    | 6.21    | 55.81  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.19    | 100.00 | 1.318    | 6.36    | 49.60  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.46    | 99.81  | 1.151    | 6.03    | 43.24  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.94    | 99.34  | 1.006    | 5.30    | 37.21  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 1.58    | 98.41  | 0.877    | 4.45    | 31.91  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 2.09    | 96.85  | 0.766    | 3.71    | 27.45  |          |         |        |

Figura N° 48. Curva de distribución del tamaño de partículas sulfato de bario químicamente puro Riedel de Haen AG.



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/11/2012 11:30

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

ID# : 20111123-452 13:26 Source :  
 Filename : BBME.SP Lot Number :  
 Sample : BBMEspecial Test Number :  
 Material : Instrument : 23.11.11

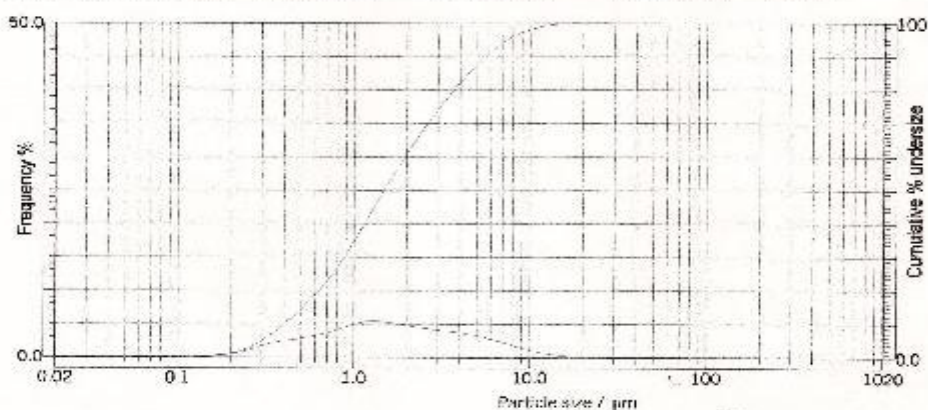
Condition  
 T%(He-Ne) : 82.2% Dist.Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP) : 79.3% R.R.Index : 1.22-0.101 Ultrasonic : ON( 30)  
 Agitation : 3 Circulation : 3

Format  
 Dist.base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

**Data**

Median : 1.477µm SP.Area : 62756cm²/cm³ S.D. : 2.387µm  
 Mode : 1.231µm Mean : 2.347µm  
 C.V. : 101.73% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 3.464

|                       |          |                         |       |
|-----------------------|----------|-------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0% ) : | 0.403µm  | % on Dia. ( 0.050µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0% ) : | 0.767µm  | % on Dia. ( 0.100µm ) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0% ) : | 1.477µm  | % on Dia. ( 0.500µm ) : | 14.4% |
| Dia. on % ( 90.0% ) : | 5.520µm  | % on Dia. ( 1.000µm ) : | 34.6% |
| Dia. on % ( 99.0% ) : | 11.425µm | % on Dia. ( 1.500µm ) : | 50.6% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 0.00    | 100.00 | 0.669    | 3.48    | 21.40  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 0.00    | 100.00 | 0.584    | 3.13    | 17.92  |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 0.00    | 100.00 | 0.510    | 2.65    | 14.79  |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 0.17    | 100.00 | 0.445    | 2.65    | 11.94  |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 0.29    | 99.83  | 0.389    | 2.43    | 9.29   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 0.47    | 99.54  | 0.339    | 2.12    | 8.86   |
| 451.6    | 0.00    | 100.00 | 11.56    | 0.74    | 99.07  | 0.296    | 1.68    | 4.74   |
| 394.2    | 0.00    | 100.00 | 10.10    | 1.09    | 98.33  | 0.259    | 1.20    | 3.06   |
| 344.2    | 0.00    | 100.00 | 8.816    | 1.52    | 97.24  | 0.226    | 0.78    | 1.87   |
| 300.5    | 0.00    | 100.00 | 7.697    | 1.99    | 95.72  | 0.197    | 0.48    | 1.09   |
| 262.4    | 0.00    | 100.00 | 6.720    | 2.45    | 93.73  | 0.172    | 0.29    | 0.60   |
| 229.1    | 0.00    | 100.00 | 5.967    | 2.88    | 91.28  | 0.150    | 0.19    | 0.32   |
| 200.0    | 0.00    | 100.00 | 5.122    | 3.23    | 88.42  | 0.131    | 0.13    | 0.13   |
| 174.6    | 0.00    | 100.00 | 4.472    | 3.52    | 85.20  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.6    | 0.00    | 100.00 | 3.906    | 3.77    | 81.67  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 100.00 | 3.409    | 3.99    | 77.91  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 100.00 | 2.976    | 4.18    | 73.92  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 100.00 | 2.599    | 4.35    | 69.74  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 0.00    | 100.00 | 2.269    | 4.59    | 65.38  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 100.00 | 1.981    | 4.85    | 60.80  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.00    | 100.00 | 1.729    | 5.10    | 56.94  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.96    | 0.00    | 100.00 | 1.510    | 5.31    | 50.85  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.00    | 100.00 | 1.318    | 5.41    | 45.54  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.00    | 100.00 | 1.151    | 5.33    | 40.13  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.00    | 100.00 | 1.006    | 4.99    | 34.80  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 0.00    | 100.00 | 0.877    | 4.48    | 29.81  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.00    | 100.00 | 0.766    | 3.93    | 25.33  |          |         |        |

Figura N° 49. Curva de distribución del tamaño de partículas Baritina blanca micronizada especial.

**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/11/2012 11:31

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

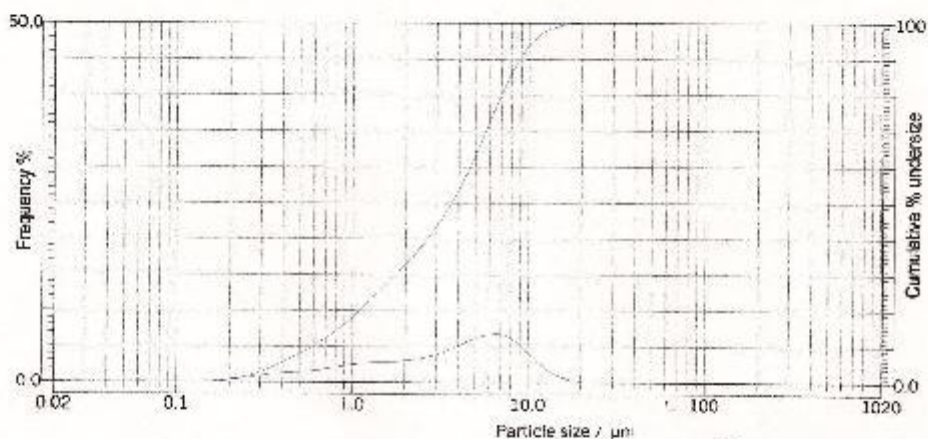
ID# : 20111126-470 16:52 Source :  
 Filename : BBM Lot Number :  
 Sample : baritina Blanca Micronizada Test Number :  
 Material : Instrument : 26.11.11

Condition  
 T%(He-Ne) : 80.6% Dist.Form : Std Sampling times : 10  
 (LAMP) : 82.4% R.R.Index : 1.22-0.10i  
 Agitation : 3 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist.basis : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

Data  
 Median : 3.632µm SP Area : 36972cm²/cm² S.D. : 3.313µm  
 Mode : 6.262µm Mean : 4.246µm  
 C.V. : 78.03% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 2.251

|                      |          |                        |       |
|----------------------|----------|------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0%) : | 0.598µm  | % on Dia. ( 0.050µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0%) : | 1.396µm  | % on Dia. ( 0.100µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0%) : | 3.632µm  | % on Dia. ( 0.500µm) : | 7.9%  |
| Dia. on % ( 90.0%) : | 8.776µm  | % on Dia. ( 1.000µm) : | 18.1% |
| Dia. on % ( 99.0%) : | 14.218µm | % on Dia. ( 1.500µm) : | 26.5% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 28.11    | 0.00    | 100.00 | 0.869    | 1.77    | 11.47  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 0.00    | 100.00 | 0.584    | 1.62    | 9.89   |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 0.18    | 100.00 | 0.510    | 1.49    | 8.08   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 0.41    | 99.82  | 0.445    | 1.39    | 6.59   |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 0.86    | 99.41  | 0.389    | 1.30    | 5.20   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 1.61    | 98.55  | 0.339    | 1.18    | 3.91   |
| 451.6    | 0.00    | 100.00 | 11.56    | 2.71    | 96.94  | 0.298    | 0.95    | 2.75   |
| 394.2    | 0.00    | 100.00 | 10.10    | 4.05    | 94.24  | 0.259    | 0.70    | 1.80   |
| 344.2    | 0.00    | 100.00 | 8.816    | 5.40    | 90.18  | 0.226    | 0.47    | 1.10   |
| 300.5    | 0.00    | 100.00 | 7.697    | 6.44    | 84.78  | 0.197    | 0.31    | 0.63   |
| 262.4    | 0.00    | 100.00 | 6.720    | 6.94    | 78.34  | 0.172    | 0.19    | 0.32   |
| 229.1    | 0.00    | 100.00 | 5.867    | 6.72    | 71.40  | 0.150    | 0.13    | 0.13   |
| 200.0    | 0.00    | 100.00 | 5.122    | 6.33    | 64.68  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.6    | 0.00    | 100.00 | 4.472    | 5.68    | 58.35  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.6    | 0.00    | 100.00 | 3.905    | 5.02    | 52.67  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 100.00 | 3.409    | 4.44    | 47.65  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 100.00 | 2.976    | 3.91    | 43.21  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 100.00 | 2.599    | 3.48    | 39.30  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 0.00    | 100.00 | 2.289    | 3.20    | 36.83  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 100.00 | 1.951    | 3.03    | 32.63  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.00    | 100.00 | 1.729    | 2.94    | 29.60  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.96    | 0.00    | 100.00 | 1.510    | 2.68    | 26.66  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.00    | 100.00 | 1.318    | 2.83    | 23.78  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.00    | 100.00 | 1.151    | 2.73    | 20.96  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.00    | 100.00 | 1.005    | 2.52    | 18.22  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.26    | 0.00    | 100.00 | 0.877    | 2.25    | 15.70  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.00    | 100.00 | 0.765    | 1.98    | 13.44  |          |         |        |

Figura N° 50. Curva de distribución del tamaño de partículas Baritina blanca micronizada.



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/10/2012 10:47

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

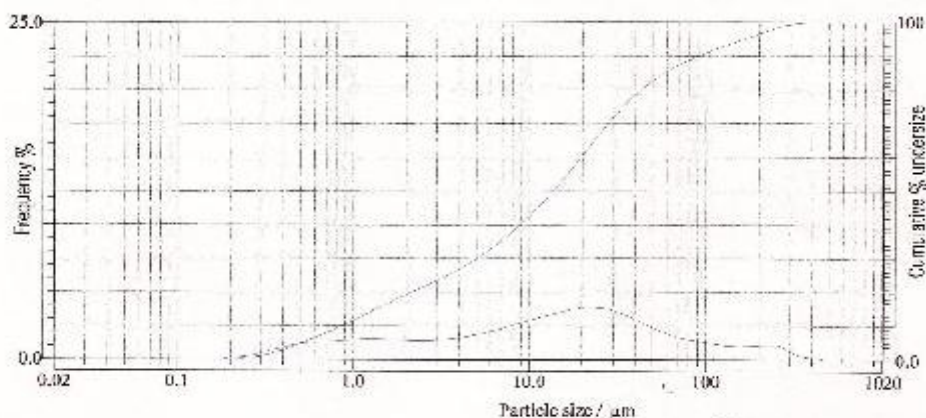
ID# : 20100209-095 16:55 Source : con IR=1.220101  
 Filename : BARI-API Lot Number :  
 Sample : Baritina API Test Number :  
 Material : Dispersada en IPA (H2O) Instrument : 09.02.10

Condition  
 T%(He-Ne): 75.1% Dist-Form : Std. Sampling times : 10  
 T%(LAMP): 75.5% R.R.Index : 1.22-0.101  
 Agitation : 3 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist-base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

Data  
 Median : 13.623µm SP-Area : 21926cm²/cm³ S.D. : 55.923µm  
 Mode : 21.294µm Mean : 34.008µm  
 C.V. : 167.36% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 6.590

|                       |           |                         |       |
|-----------------------|-----------|-------------------------|-------|
| Dis. on % ( 10.0% ) : | 0.050µm   | % on Dis. ( 0.050µm ) : | 0.0%  |
| Dis. on % ( 25.0% ) : | 3.405µm   | % on Dis. ( 0.100µm ) : | 0.0%  |
| Dis. on % ( 50.0% ) : | 13.623µm  | % on Dis. ( 0.500µm ) : | 4.7%  |
| Dis. on % ( 80.0% ) : | 80.634µm  | % on Dis. ( 1.000µm ) : | 11.6% |
| Dis. on % ( 99.0% ) : | 278.024µm | % on Dis. ( 1.500µm ) : | 16.2% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 3.82    | 68.07  | 0.669    | 1.32    | 7.47   |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 3.68    | 84.24  | 0.584    | 1.29    | 6.15   |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 3.64    | 80.36  | 0.510    | 1.19    | 4.87   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 3.71    | 56.52  | 0.445    | 1.06    | 3.68   |
| 582.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 3.54    | 52.81  | 0.389    | 0.87    | 2.83   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 3.34    | 49.27  | 0.339    | 0.87    | 1.76   |
| 461.6    | 0.11    | 100.00 | 11.56    | 3.14    | 46.93  | 0.296    | 0.47    | 1.09   |
| 394.2    | 0.19    | 99.89  | 10.10    | 2.94    | 42.79  | 0.259    | 0.31    | 0.62   |
| 344.2    | 0.35    | 99.70  | 8.616    | 2.72    | 39.65  | 0.226    | 0.19    | 0.31   |
| 300.5    | 0.63    | 99.35  | 7.697    | 2.49    | 37.13  | 0.197    | 0.12    | 0.12   |
| 262.4    | 1.13    | 98.72  | 6.720    | 2.27    | 34.84  | 0.172    | 0.00    | 0.00   |
| 229.1    | 1.13    | 97.58  | 5.867    | 2.08    | 32.37  | 0.150    | 0.00    | 0.00   |
| 200.0    | 1.09    | 96.46  | 5.122    | 1.90    | 30.29  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.6    | 1.05    | 95.37  | 4.472    | 1.76    | 28.39  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 1.03    | 94.32  | 3.906    | 1.62    | 26.64  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 1.08    | 93.29  | 3.409    | 1.54    | 25.01  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 1.15    | 92.23  | 2.976    | 1.47    | 23.47  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 1.29    | 91.07  | 2.599    | 1.41    | 22.01  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.58    | 1.39    | 89.78  | 2.269    | 1.40    | 20.60  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 1.55    | 88.39  | 1.981    | 1.43    | 19.20  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.02    | 1.75    | 86.84  | 1.729    | 1.48    | 17.76  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.95    | 2.00    | 85.10  | 1.510    | 1.52    | 16.29  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 2.31    | 83.10  | 1.318    | 1.55    | 14.77  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 2.66    | 80.76  | 1.151    | 1.54    | 13.22  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 38.23    | 3.03    | 78.12  | 1.005    | 1.48    | 11.69  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 3.37    | 75.09  | 0.877    | 1.40    | 10.21  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 3.66    | 71.71  | 0.766    | 1.34    | 8.61   |          |         |        |

Figura N° 51. Curva de distribución del tamaño de partículas de la baritina PM Grado API.

**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/11/2012 11:20

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

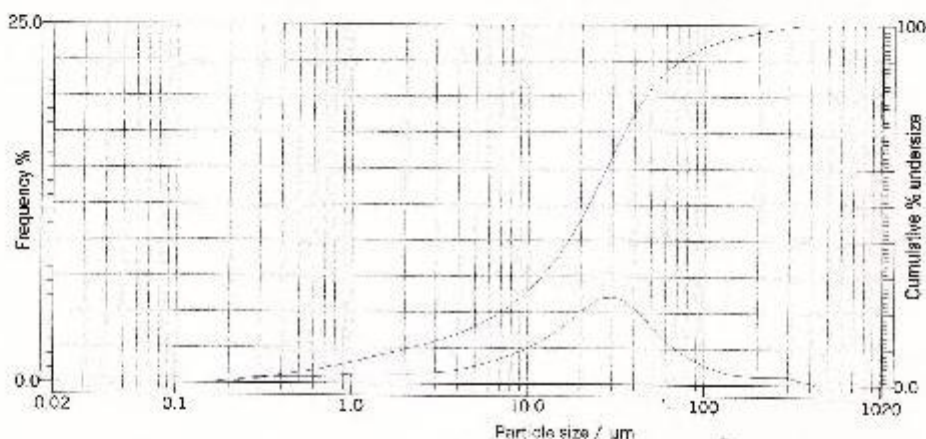
ID# : 20100210-099 14:31 Source : con IR-1.220101  
 Filename : BAR-COMB Lot Number :  
 Sample : Baritina Comercial Test Number :  
 Material : Dispersada en IPA (H2O) Instrument : 09.02.10

Condition  
 T%(He-Ne): 72.0% DiL Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP): 74.0% R.R.Index : 1.22-0.101  
 Agitation : 3 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist.base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX LinearY

Data  
 Median : 22.021µm SP.Area : 14288cm²/cm³ S.D. : 47.037µm  
 Mode : 27.912µm Mean : 34.703µm  
 C.V. : 135.64% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 3.175

| Dist. on % | Size (µm) | % on Dia. | Size (µm) | % on Dia. |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10.0%      | 2.121µm   | 0.050µm   | 0.0%      |           |
| 25.0%      | 8.477µm   | 0.100µm   | 0.0%      |           |
| 50.0%      | 22.021µm  | 0.500µm   | 4.2%      |           |
| 90.0%      | 72.031µm  | 1.000µm   | 6.0%      |           |
| 99.0%      | 268.250µm | 1.500µm   | 9.2%      |           |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 5.99    | 57.42  | 0.068    | 0.49    | 4.18   |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 6.61    | 61.43  | 0.584    | 0.45    | 3.69   |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 6.06    | 45.82  | 0.510    | 0.44    | 3.24   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 4.44    | 40.77  | 0.445    | 0.44    | 2.80   |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 3.86    | 36.33  | 0.389    | 0.48    | 2.36   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 3.36    | 32.48  | 0.339    | 0.47    | 1.90   |
| 451.8    | 0.00    | 100.00 | 11.58    | 2.93    | 29.13  | 0.296    | 0.44    | 1.43   |
| 394.2    | 0.10    | 100.00 | 10.10    | 2.57    | 26.20  | 0.259    | 0.37    | 0.98   |
| 344.2    | 0.33    | 99.82  | 8.815    | 2.26    | 23.63  | 0.226    | 0.28    | 0.61   |
| 300.5    | 0.59    | 99.49  | 7.697    | 1.96    | 21.39  | 0.197    | 0.20    | 0.33   |
| 262.4    | 0.59    | 98.90  | 6.720    | 1.70    | 19.42  | 0.172    | 0.19    | 0.13   |
| 229.1    | 0.58    | 98.32  | 5.867    | 1.48    | 17.72  | 0.150    | 0.00    | 0.00   |
| 200.0    | 0.58    | 97.74  | 5.122    | 1.29    | 16.24  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.8    | 0.61    | 97.15  | 4.472    | 1.13    | 14.95  | 0.116    | 0.00    | 0.00   |
| 152.5    | 0.68    | 96.55  | 3.905    | 1.00    | 13.82  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.81    | 95.87  | 3.409    | 0.90    | 12.82  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 1.03    | 95.06  | 2.976    | 0.82    | 11.93  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 1.32    | 94.02  | 2.599    | 0.75    | 11.11  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 89.58    | 1.63    | 92.70  | 2.269    | 0.72    | 10.36  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 2.03    | 91.08  | 1.981    | 0.71    | 9.64   | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.62    | 2.54    | 89.03  | 1.729    | 0.71    | 8.92   | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 59.95    | 3.17    | 86.49  | 1.510    | 0.72    | 8.21   | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 3.89    | 83.32  | 1.318    | 0.73    | 7.49   | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 4.66    | 79.43  | 1.151    | 0.73    | 6.75   | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 5.37    | 74.77  | 1.005    | 0.68    | 6.03   | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 5.88    | 69.40  | 0.877    | 0.62    | 5.34   | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 6.10    | 63.52  | 0.766    | 0.54    | 4.73   |          |         |        |

Figura N° 52. Curva de distribución del tamaño de partículas de la baritina comercial.



**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/11/2012 11:33

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

ID# : 20100210-102 16:20 Source : con IR=180 0101  
 Filename : MINIO Lot Number :  
 Sample : Minio Test Number :  
 Material : Dispersada en IPA (H2O) Instrument : 10.02.10

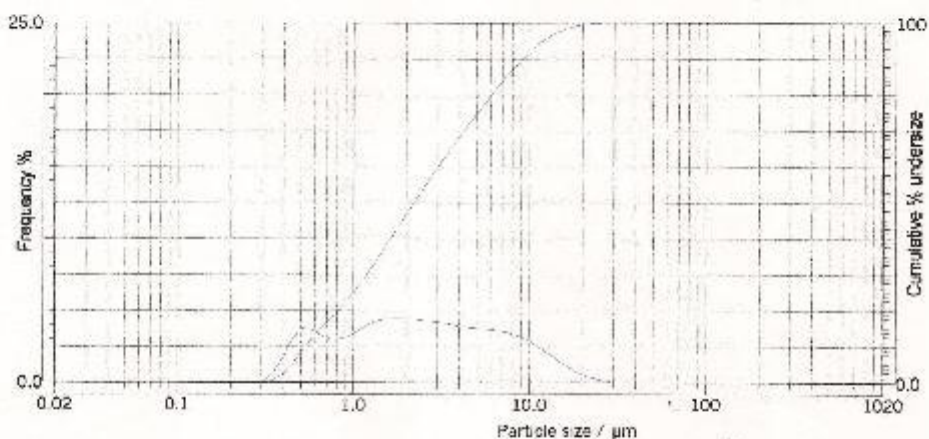
Condition  
 T%(H<sub>2</sub>O) : 83.2% Dist. Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP) : 87.9% R.R. Index : 1.80-0.10i  
 Agitation : 4 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

**Data**

Median : 2.181µm SP Area : 43310cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> S.D. : 3.848µm  
 Mode : 1.616µm Mean : 3.682µm  
 C.V. : 104.49% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 3.892

|                      |          |                        |       |
|----------------------|----------|------------------------|-------|
| Dia. on % ( 10.0%) : | 0.534µm  | % on Dia. ( 0.050µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 25.0%) : | 0.999µm  | % on Dia. ( 0.100µm) : | 0.0%  |
| Dia. on % ( 50.0%) : | 2.181µm  | % on Dia. ( 0.500µm) : | 8.2%  |
| Dia. on % ( 90.0%) : | 8.061µm  | % on Dia. ( 1.000µm) : | 25.0% |
| Dia. on % ( 99.0%) : | 17.630µm | % on Dia. ( 1.500µm) : | 37.6% |



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 0.16    | 100.00 | 0.669    | 3.22    | 15.64  |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 0.32    | 99.84  | 0.584    | 3.68    | 12.41  |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 0.58    | 99.52  | 0.510    | 3.78    | 8.76   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.36    | 0.94    | 98.94  | 0.446    | 2.96    | 4.98   |
| 592.4    | 0.00    | 100.00 | 15.17    | 1.40    | 98.00  | 0.389    | 1.53    | 2.02   |
| 517.2    | 0.00    | 100.00 | 13.25    | 1.90    | 96.60  | 0.339    | 0.48    | 0.48   |
| 451.6    | 0.00    | 100.00 | 11.56    | 2.41    | 94.69  | 0.296    | 0.00    | 0.00   |
| 394.2    | 0.00    | 100.00 | 10.10    | 2.86    | 92.28  | 0.269    | 0.00    | 0.00   |
| 344.2    | 0.00    | 100.00 | 8.816    | 3.22    | 89.42  | 0.226    | 0.00    | 0.00   |
| 300.5    | 0.00    | 100.00 | 7.697    | 3.47    | 86.20  | 0.197    | 0.00    | 0.00   |
| 262.4    | 0.00    | 100.00 | 6.720    | 3.62    | 82.73  | 0.172    | 0.00    | 0.00   |
| 229.1    | 0.00    | 100.00 | 5.867    | 3.72    | 79.10  | 0.150    | 0.00    | 0.00   |
| 200.0    | 0.00    | 100.00 | 5.122    | 3.79    | 75.38  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.6    | 0.00    | 100.00 | 4.472    | 3.87    | 71.60  | 0.116    | 0.00    | 0.00   |
| 152.6    | 0.00    | 100.00 | 3.905    | 3.97    | 67.72  | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.00    | 100.00 | 3.409    | 4.09    | 63.76  | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 116.2    | 0.00    | 100.00 | 2.976    | 4.22    | 59.66  | 0.076    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.00    | 100.00 | 2.599    | 4.31    | 55.44  | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.68    | 0.00    | 100.00 | 2.269    | 4.41    | 51.13  | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.00    | 100.00 | 1.981    | 4.47    | 46.72  | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.00    | 100.00 | 1.729    | 4.49    | 42.25  | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.96    | 0.00    | 100.00 | 1.510    | 4.45    | 37.76  | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.00    | 100.00 | 1.318    | 4.26    | 33.31  | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.00    | 100.00 | 1.151    | 3.88    | 29.04  | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 39.23    | 0.00    | 100.00 | 1.005    | 3.45    | 25.16  | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.26    | 0.00    | 100.00 | 0.877    | 3.08    | 21.70  | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.00    | 100.00 | 0.766    | 2.99    | 18.62  |          |         |        |

Figura N° 53. Curva de distribución del tamaño de partículas del Minio.

**HORIBA LA-910**

for Windows(TM) Ver. 1.31 Apr/10/2012 16:58

Laser scattering particle size distribution analyzer

**PARTICLE SIZE MEASUREMENT DATA**

ID# : 20100210-104 16:58 Source : con IK=190 0101  
 Filename : LITARGI Lot Number :  
 Sample : Litargirio Test Number :  
 Material : Diapirada en IPA (H2O) Instrument : 10.02.10

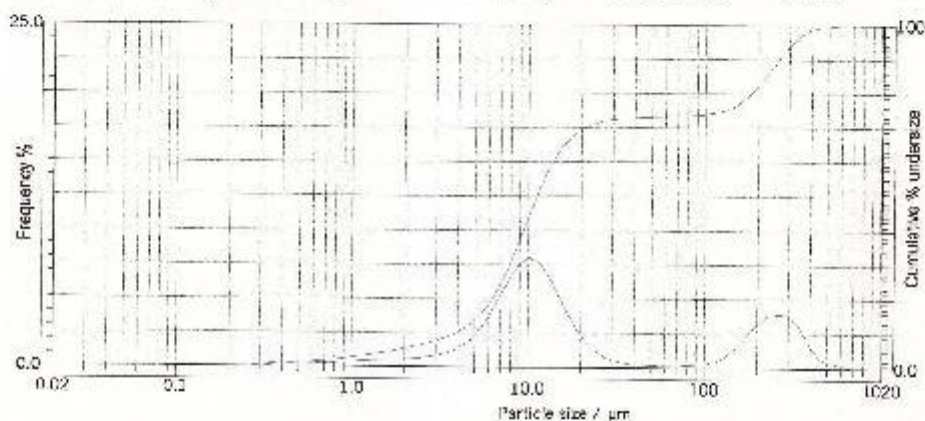
Condition  
 T%(He-Ne): 83.9% Dist. Form : Std. Sampling times : 10  
 (LAMP): 83.7% R.R. Index : 1.90-0.10i  
 Agitation : 3 Circulation : 3 Ultrasonic : ON( 30)

Format  
 Dist. base : Volume Scaling : Fixed Axis : LogX - LinearY

**Data**

Median : 11.176µm SP Area : 952/cm²/cm² S.D. : 112.407µm  
 Mode : 9.448µm Mean : 71.887µm  
 C.V. : 156.13% Span : (D 10.0-D 90.0) / D50 = 23.059

Dia. on % ( 10.0% ) : 3.920µm % on Dia. ( 0.050µm ) : 0.0%  
 Dia. on % ( 25.0% ) : 7.088µm % on Dia. ( 0.100µm ) : 0.0%  
 Dia. on % ( 50.0% ) : 11.176µm % on Dia. ( 0.500µm ) : 1.2%  
 Dia. on % ( 90.0% ) : 261.615µm % on Dia. ( 1.000µm ) : 2.8%  
 Dia. on % ( 99.0% ) : 419.480µm % on Dia. ( 1.500µm ) : 4.3%



| Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) | Size(µm) | Freq(%) | Und(%) |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 1019.5   | 0.00    | 100.00 | 26.11    | 0.89    | 71.70  | 0.669    | 0.27    | 1.78   |
| 890.1    | 0.00    | 100.00 | 22.80    | 1.48    | 70.81  | 0.504    | 0.28    | 1.51   |
| 777.1    | 0.00    | 100.00 | 19.90    | 2.33    | 69.35  | 0.510    | 0.31    | 1.23   |
| 678.5    | 0.00    | 100.00 | 17.38    | 3.54    | 67.03  | 0.445    | 0.33    | 0.92   |
| 592.4    | 0.22    | 100.00 | 15.17    | 5.03    | 63.10  | 0.389    | 0.29    | 0.59   |
| 517.2    | 0.39    | 99.78  | 13.25    | 6.53    | 58.16  | 0.339    | 0.20    | 0.30   |
| 451.6    | 0.71    | 99.39  | 11.58    | 7.64    | 51.03  | 0.290    | 0.10    | 0.10   |
| 394.2    | 1.68    | 98.67  | 10.10    | 8.00    | 44.28  | 0.259    | 0.00    | 0.00   |
| 344.2    | 3.08    | 97.02  | 8.816    | 7.47    | 36.28  | 0.226    | 0.00    | 0.00   |
| 300.6    | 3.65    | 93.93  | 7.697    | 6.28    | 28.81  | 0.197    | 0.00    | 0.00   |
| 262.1    | 3.92    | 90.00  | 6.720    | 4.83    | 22.53  | 0.172    | 0.00    | 0.00   |
| 229.1    | 3.76    | 86.16  | 5.867    | 3.50    | 17.70  | 0.160    | 0.00    | 0.00   |
| 200.0    | 3.20    | 82.40  | 5.122    | 2.48    | 14.20  | 0.131    | 0.00    | 0.00   |
| 174.6    | 2.39    | 79.20  | 4.472    | 1.77    | 11.72  | 0.115    | 0.00    | 0.00   |
| 152.6    | 1.54    | 76.81  | 3.903    | 1.31    | 9.86   | 0.100    | 0.00    | 0.00   |
| 133.1    | 0.86    | 75.27  | 3.409    | 1.01    | 8.61   | 0.087    | 0.00    | 0.00   |
| 118.2    | 0.47    | 74.42  | 2.976    | 0.83    | 7.63   | 0.078    | 0.00    | 0.00   |
| 101.5    | 0.29    | 73.94  | 2.559    | 0.72    | 6.80   | 0.067    | 0.00    | 0.00   |
| 88.68    | 0.20    | 73.68  | 2.269    | 0.64    | 6.08   | 0.058    | 0.00    | 0.00   |
| 77.34    | 0.15    | 73.48  | 1.991    | 0.60    | 5.44   | 0.051    | 0.00    | 0.00   |
| 67.52    | 0.12    | 73.32  | 1.729    | 0.56    | 4.84   | 0.044    | 0.00    | 0.00   |
| 58.96    | 0.12    | 73.19  | 1.510    | 0.53    | 4.26   | 0.039    | 0.00    | 0.00   |
| 51.47    | 0.13    | 73.08  | 1.318    | 0.60    | 3.75   | 0.034    | 0.00    | 0.00   |
| 44.94    | 0.16    | 72.95  | 1.151    | 0.45    | 3.26   | 0.029    | 0.00    | 0.00   |
| 38.23    | 0.22    | 72.79  | 1.005    | 0.39    | 2.79   | 0.026    | 0.00    | 0.00   |
| 34.25    | 0.34    | 72.67  | 0.877    | 0.33    | 2.40   | 0.022    | 0.00    | 0.00   |
| 29.91    | 0.64    | 72.23  | 0.766    | 0.29    | 2.07   |          |         |        |

Figura N° 54. Curva de distribución del tamaño de partículas del Litargirio.

### Apéndice 9

Datos de las dimensiones de sedimentadores continuos a partir de los datos de sedimentación discontinua, sugeridos por el Ing. Gilberto Salas Colotta (Miembro del Jurado)

### 9.1. Determinación de la dimensiones de un sedimentador continuo a partir de los datos de la sedimentación discontinua.

De los datos experimentales se determinaron las velocidades de sedimentación para los diferentes tipos de materiales estudiados, de las cuales se determinó las dimensiones del Sedimentador Discontinuo.

#### 9.1.1. Área del espesador

Para realizar la determinación del área del sedimentador se calculo por el Método de Talmadge y Fitch, el cual se basa en una variante del método de Coe y Clevenger, obtenido por un balance de materia al sedimentador en estado discontinuo, se asume un flujo superior sin sólidos. La cual se puede escribir en términos de capacidad limitante,

$$\frac{Q_L C_L}{A} = \frac{v}{\left[\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_U}\right]} \dots (25)$$

Donde el menor valor de  $\frac{Q_L C_L}{A}$  determina la mínima área del espesador requerida.

#### 9.1.2. Volumen del espesador

Para hallar el volumen del tanque se aplico la representación de Roberts, donde el volumen requerido por la zona de compresión es la suma de los volúmenes ocupados por el sólido y liquido;

$$V = \frac{Q_f C_f}{\rho_s} (t - t_c) + \frac{Q_f C_f}{\rho_L} \int_{t_c}^t \frac{M_L}{M_s} \dots (26)$$

Después de calcular el volumen de la zona de compresión, la altura de la zona puede ser calculada dividiendo el volumen entre el área del espesador.



9.2. Tabulación de datos y resultados

Tabla N° 64

Resultados de las dimensiones del sedimentador continuo.

|  | Carbonato de Calcio    |                          |                              |                     | Químicamente<br>puro,<br>Mallinckrodt | Baritina Blanca<br>Micronizada<br>Especial |
|--|------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
|  | Micronizada<br>FM-1000 | Precipitado<br>El Nevado | Precipitado<br>Diamante Rojo | Carbonato<br>TE 100 |                                       |  |
| Gravedad Específica                          | 2,7                    | 2,6                      | 2,6                          | 2,6                 | 2,7                                   | 4,5  |
| Tamaño de la Partícula                       | 1,4                    | 2,2                      | 6,9                          | 18,2                | 24,8                                  | 1,5  |
| Capacidad (kg/m <sup>2</sup> .h)             | 17,5                   | 33,0                     | 60,4                         | 85,7                | 507,3                                 | 271,5                                      |
| Área (m <sup>2</sup> )                       | 57,3                   | 30,3                     | 16,6                         | 11,7                | 2,0                                   | 3,7  |
| Tiempo de Retención (h)                      | 2,85                   | 2,50                     | 1,73                         | 0,13                | 0,09                                  | 0,40                                       |
| Volumen Zona de Compresión (m <sup>3</sup> ) | 33,6                   | 26,3                     | 17,3                         | 2,3                 | 1,2                                   | 5,3  |
| Altura Zona de Compresión (m)                | 0,6                    | 0,9                      | 1,0                          | 0,2                 | 0,6                                   | 1,4  |

**Nota:** (\*)La concentración final asumida para todas las muestras fue de 300 g/L.

(\*\*) El flujo de alimentación asumido para todas las muestras fue de 1 tonelada de Sólidos/hora.

(\*\*\*)Para el tiempo de residencia se consideró una concentración inicial de 100g/L para todas las suspensiones.

### 9.3. Ejemplo de Cálculos

#### 9.3.1. Determinación del área del espesador

Para determinar el área se asume para todas las muestras de Carbonato de Calcio una velocidad alimentación al espesador de 1 tonelada de sólido por hora para producir un lodo de una concentración de 300 g/L. Para el Carbonato de calcio micronizado FM-1000 de los datos de sedimentación discontinua, se obtuvo que la ecuación de la velocidad de sedimentación sea la siguiente:

$$v = 1630 \times C^{-1.942} \dots (27)$$

Usando la relación de la velocidad con la concentración para la suspensión de Carbonato de calcio Micronizado FM-1000 se obtienen los resultados de la Tabla N°3. Para la determinación de las dimensiones se asume que la velocidad de alimentación al espesador es de 1 tonelada de sólido/hora para producir un lodo espesado de 300g/L.

Para una  $C_L$  de 20g/L:  $V_{20\text{ g/L}} = 4.85\text{ cm/min}$

Como  $C_U$  es 300g/L:  $\frac{1}{C_U} = 0.003\text{ m}^3/\text{Kg}$

Por lo tanto,  $\frac{Q_L C_L}{A \text{ } C_{L=20\text{ g/L}}} = 62.4\text{ Kg/m}^2 \cdot h$

De la Figura 1 el mínimo valor de  $\frac{Q_L C_L}{A}$  es de 17.45 Kg/m<sup>2</sup>.h a 0.10cm/min, y  $C_L=150\text{g/L}$  (de la Figura 1 o Tabla N°3). Dado que no presenta sólidos en el overflow el balance de sólidos es,

$$Q_L C_L = 1\text{ tonelada } h^{-1} = 1000\text{ Kg} \cdot h^{-1}$$

y,  $A = \frac{1000\text{ Kg} \cdot h^{-1}}{17.45\text{ Kg} \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}} = 57.3\text{ m}^2$

Es decir, el área del espesante requerida es de 57.3 m<sup>2</sup> para el Carbonato de Calcio Micronizado FM-1000.

Tabla N° 65

Determinación de la mínima valor de  $\frac{Q_L C_L}{A}$ .

| $C_L$ (g/L) | Velocidad de Sedimentación(cm/min) | $1/C_L$ | $1/C_U$ | $Q_L C_L/A$ (Kg/m <sup>2</sup> .h) |
|-------------|------------------------------------|---------|---------|------------------------------------|
| 0           | 0                                  | 0       | 0,003   | 0                                  |
| 20          | 4,85                               | 0,050   | 0,003   | 62,4                               |
| 40          | 1,26                               | 0,025   | 0,003   | 35,0                               |
| 60          | 0,57                               | 0,017   | 0,003   | 25,9                               |
| 80          | 0,33                               | 0,013   | 0,003   | 21,5                               |
| 100         | 0,21                               | 0,010   | 0,003   | 19,2                               |
| 110         | 0,18                               | 0,009   | 0,003   | 18,5                               |
| 120         | 0,15                               | 0,008   | 0,003   | 17,9                               |
| 130         | 0,13                               | 0,008   | 0,003   | 17,6                               |
| 140         | 0,11                               | 0,007   | 0,003   | 17,5                               |
| 150         | 0,10                               | 0,007   | 0,003   | 17,5                               |
| 160         | 0,09                               | 0,006   | 0,003   | 17,6                               |
| 170         | 0,08                               | 0,006   | 0,003   | 17,9                               |
| 180         | 0,07                               | 0,006   | 0,003   | 18,4                               |
| 190         | 0,06                               | 0,005   | 0,003   | 19,1                               |
| 200         | 0,06                               | 0,005   | 0,003   | 20,0                               |
| 220         | 0,05                               | 0,005   | 0,003   | 22,8                               |
| 240         | 0,04                               | 0,004   | 0,003   | 28,0                               |
| 260         | 0,03                               | 0,004   | 0,003   | 39,0                               |
| 280         | 0,03                               | 0,004   | 0,003   | 72,7                               |
| 300         | 0,03                               | 0,003   | 0,003   | 0                                  |

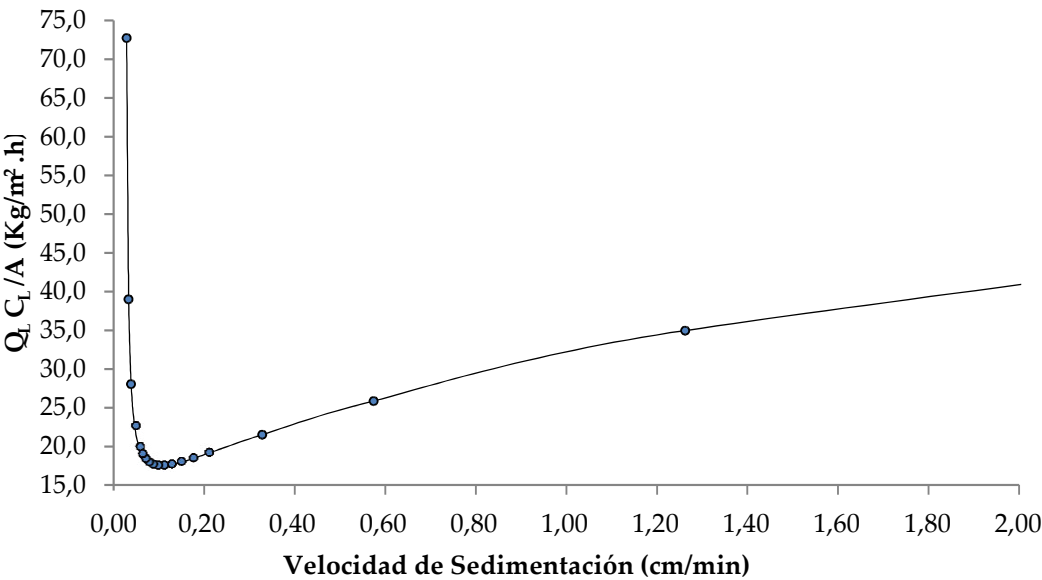


Figura N° 55. Determinación del mínimo valor de  $Q_L C_L/A$  para el Carbonato de calcio Micronizado FM-1000.

### 9.3.2. Volumen del espesador

Para hallar el volumen del tanque se aplicara la representación de Roberts a la prueba de sedimentación discontinua de una concentración de 100 g/L. Donde  $H_o$  es 53.4 cm y  $H_\infty$  es 11.0 cm. De los valores obtenidos de la tabla N° 4 se representa en coordenadas semilogarítmicas, la cual dan la Figura N° 2. De la figura N° 2 se extrapola hasta el tiempo cero y se obtiene el valor de  $Z_c$ ,

$$\frac{H' - H_\infty}{H_o - H_\infty} = Z_c = 0.16$$

$$H' = 17.5 \text{ cm}$$

Luego,

$$(53.4 - 17.4)/2 = 35.5 \text{ cm}$$

Reemplazando la ordenada correspondiente será,

$$\frac{35.5 - 11.0}{53.4 - 11.0} = 0.58$$

Y el tiempo en que empieza la compresión para todos los sólidos es  $t_c$ , será la abscisa correspondiente que es 89 min. Para estimar el tiempo a la cual la pulpa alcanza una concentración de 300 g/L este será el tiempo de retención; de la figura N° 3 se determina que 260 minutos es requerido para producir una concentración de 300 g/L, por lo tanto el tiempo de retención en la zona de compresión es:

$$(t - t_c) = (260 - 89) = 171 \text{ min.} = 2.85 \text{ horas}$$

Y notar que,

$$\frac{M_L}{M_s} = \frac{\rho_{av}}{C} - 1 = \frac{\text{Masa del líquido en la suspensión con una densidad } \rho_{av}}{\text{Masa del sólido en la suspensión}} \dots (28)$$

$$\frac{M_L}{M_s} = \frac{1880}{C} - 1$$

Reemplazando en la ecuación 2 se tiene,

$$V = \frac{1000}{2700} \times 2.85 + \frac{1000}{1000} \times 32.50 = 33.6 \text{ m}^3$$

Por consiguiente la altura será:

$$H = \frac{V}{A} = \frac{33.6 \text{ m}^3}{57.3 \text{ m}^2} = 0.6 \text{ m}$$

Tabla N° 66

Dato experimental de la prueba de sedimentación discontinua de la suspensión del carbonato de calcio micronizado FM-1000 a una concentración de 100 g/L.

| t(min) | H(cm) | (H-H <sub>∞</sub> )/(H <sub>0</sub> -H <sub>∞</sub> ) | t(min) | H(cm) | (H-H <sub>∞</sub> )/(H <sub>0</sub> -H <sub>∞</sub> ) |
|--------|-------|---|--------|-------|---|
| 0,0    | 53,4  | 1,00  | 125,2  | 29,1  | 0,43  |
| 5,3    | 52,3  | 0,97  | 130,3  | 28,1  | 0,40  |
| 10,4   | 51,3  | 0,95  | 135,8  | 27,0  | 0,38  |
| 15,5   | 50,3  | 0,93  | 140,9  | 26,0  | 0,35  |
| 20,7   | 49,3  | 0,90  | 147,4  | 24,7  | 0,32  |
| 25,9   | 48,3  | 0,88  | 152,4  | 23,7  | 0,30  |
| 31,2   | 47,3  | 0,86  | 157,5  | 22,7  | 0,28  |
| 36,5   | 46,3  | 0,83  | 162,7  | 21,7  | 0,25  |
| 41,6   | 45,3  | 0,81  | 167,9  | 20,7  | 0,23  |
| 46,9   | 44,3  | 0,79  | 172,9  | 19,8  | 0,21  |
| 52,2   | 43,3  | 0,76  | 177,9  | 18,9  | 0,19  |
| 57,4   | 42,3  | 0,74  | 183,3  | 18,0  | 0,17  |
| 62,6   | 41,3  | 0,71  | 188,7  | 17,1  | 0,14  |
| 67,7   | 40,3  | 0,69  | 194,1  | 16,2  | 0,12  |
| 73,0   | 39,3  | 0,67  | 199,6  | 15,3  | 0,10  |
| 78,2   | 38,3  | 0,64  | 204,8  | 14,8  | 0,09  |
| 83,4   | 37,3  | 0,62  | 209,8  | 14,6  | 0,08  |
| 89,1   | 36,2  | 0,59  | 215,0  | 14,4  | 0,08  |
| 94,8   | 35,1  | 0,57  | 220,4  | 14,1  | 0,07  |
| 99,9   | 34,1  | 0,54  | 225,8  | 14,0  | 0,07  |
| 104,9  | 33,3  | 0,53  | 285,6  | 13,0  | 0,05  |
| 110,0  | 32,1  | 0,50  | 379,5  | 12,4  | 0,03  |
| 115,1  | 31,1  | 0,47  | 1047,0 | 11,0  | 0,00  |
| 120,2  | 30,1  | 0,45  |        |       |   |

Tabla N° 67

Dato calculado para la estimación del volumen del espesador para el Carbonato de calcio Micronizado FM-1000.

| t (min) | H (cm) | Z <sub>i</sub> (cm) | v (cm/min) | C (g/L) | $\int_{89}^{260} \frac{M_L}{M_s} dt$ |
|---------|--------|---------------------|------------|---------|--------------------------------------|
| 89      | 36,2   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 0                                    |
| 100     | 34,1   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 3,20                                 |
| 110     | 32,1   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 2,99                                 |
| 120     | 30,1   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 3,02                                 |
| 141     | 26,0   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 6,13                                 |
| 163     | 21,7   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 6,45                                 |
| 178     | 18,9   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 4,50                                 |
| 200     | 15,3   | 53,4                | 0,192      | 100,2   | 6,42                                 |
| 210     | 14,6   | 24,8                | 0,049      | 215,8   | 1,31                                 |
| 220     | 14,1   | 21,2                | 0,032      | 252,4   | 1,14                                 |
| 226     | 14,0   | 19,7                | 0,025      | 271,6   | 0,53                                 |
| 260     | 13,4   | 17,8                | 0,017      | 300,6   | 2,99                                 |
|         |        |                     |            |         | $\Sigma = 32,50$                     |

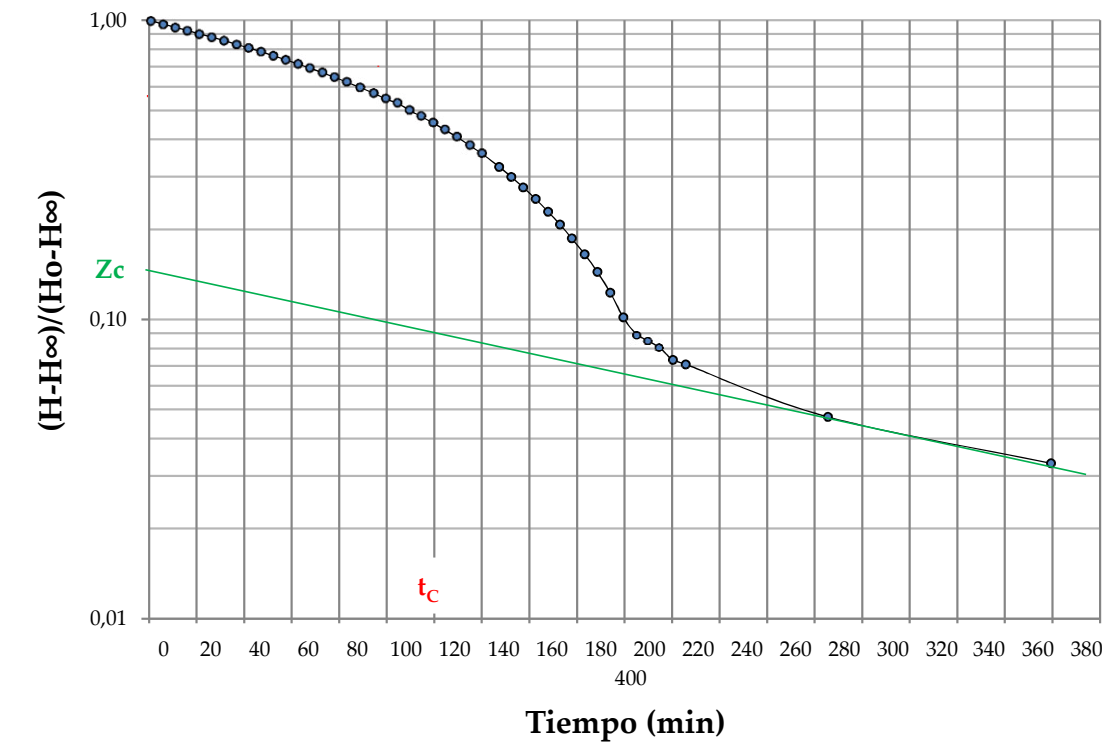


Figura N° 56. Altura de la interfase como función del tiempo de sedimentación (representación de Roberts).

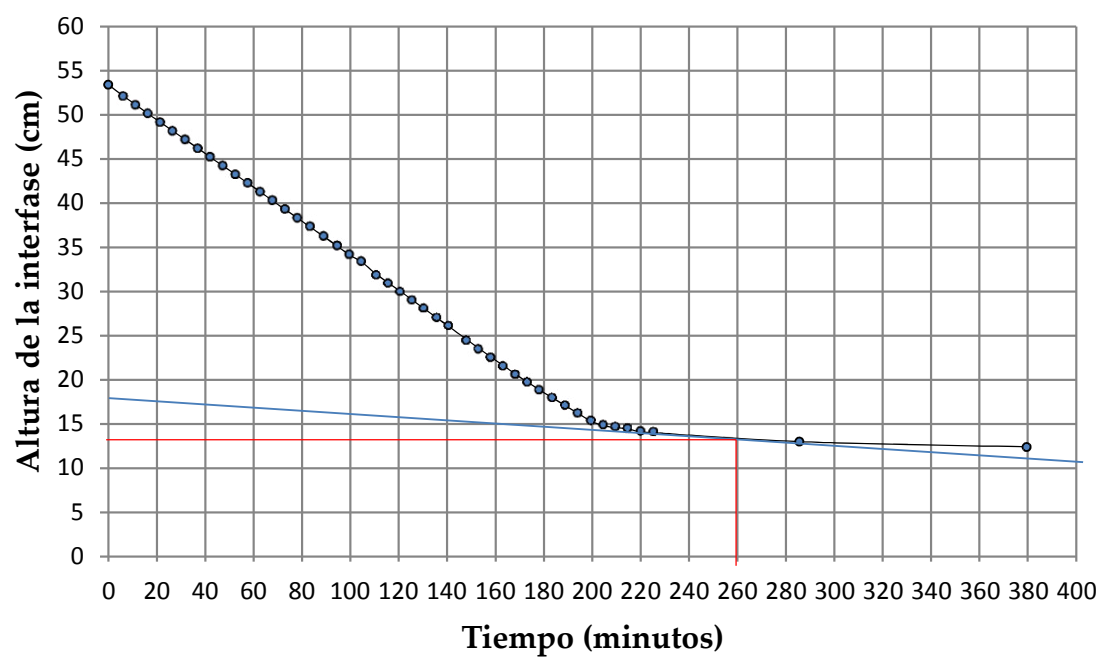


Figura N° 57. Dato de la prueba de sedimentación discontinua del carbonato de calcio micronizado FM-1000 para una concentración de 100 g/L.